

**DIAGNÓSTICO DEL IMPACTO DE LA CONEXIÓN DE UNA TERCERA GRÚA
PÓRTICO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE LA SOCIEDAD
PORTUARIA REGIONAL DE BUENAVENTURA**

CRISTÓBAL BERMUDEZ LONGA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI
2006**

**DIAGNÓSTICO DEL IMPACTO DE LA CONEXIÓN DE UNA TERCERA GRÚA
PÓRTICO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE LA SOCIEDAD
PORTUARIA REGIONAL DE BUENAVENTURA**

CRISTÓBAL BERMUDEZ LONGA

**Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Electricista.**

**Director de Proyecto
LUIS EDUARDO ARAGÓN
Ingeniero Electricista, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI**

2006

Nota De Aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Electricista

Ing. JOSÉ LEONCIO GARCÉS

Director
Sociedad Portuaria Regional
Buenaventura

Ing. LUIS EDUARDO ARAGÓN RANGEL

Director
Universidad Autónoma de Occidente

Santiago de Cali, 23 de Noviembre de 2006

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	10
1. RECONOCIMIENTO DEL SISTEMA DE POTENCIA	12
ACTUAL DE LA SPRBUN	12
1.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	12
1.2 MEDICIÓN	14
1.3 SUBESTACIÓN NÚMERO 10	15
1.4 CIRCUITO GRÚAS PÓRTICO	16
1.4.1 Subestación número 12.	19
1.4.2 Transformador de Paraboloides.	19
1.4.3 Torres de alumbrado.	19
1.4.4 Patio de refrigerados.	20
1.4.5 Circuito aéreo.	21
1.5 ANOMALÍAS	25
2. DIAGRAMA UNIFILAR	27
3. FACTORES DE CARGA, DEMANDA Y PÉRDIDAS	28
3.1 FACTOR DE CARGA	28
3.2 FLUJO DE POTENCIA	30
3.2.1 Flujo de carga incluyendo grúa 3.	31
Cuadro 6. Resultados Flujo de carga 2.1.1	31
3.2.2 Flujo de carga sin considerar grúa 3.	31
3.2.3 Flujo de carga con grúa 3 conectada en circuito grúas pórtico.	32
3.2.4 Flujo de carga con la Grúa 3	32
3.2.5 Flujo de carga tercera grúa con la corriente de arranque.	33
3.2.6 Flujo de carga tercera grúa en circuito grúas pórtico.	34
3.3 PERFILES DE TENSIÓN DERIVADOS DE LA INCLUSIÓN DE LA NUEVA CARGA	35
3.4 PÉRDIDAS	37
3.4.1 Pérdidas en circuitos de media tensión.	38
3.4.2 Pérdidas en circuitos de baja tensión.	39
3.4.3 Pérdidas no técnicas.	39
4. CÁLCULO DE CONDUCTORES	40
4.1 DIAGNÓSTICO	44
4.2 ALIMENTADOR SUBTERRÁNEO SUBESTACIÓN No. 10	45
4.3 CIRCUITO AÉREO – TRAMO SUBTERRÁNEO	46
5. SIMULACIONES PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE	48
6. REVISIÓN DE LA CARGABILIDAD DE LOS GRUPOS	52
ELECTRÓGENOS EXISTENTES	52
6.1 GRUPOS ELECTRÓGENOS	52
6.2 IMPACTO DE LA CONEXIÓN DE LA TERCERA GRÚA	55

7. CONCLUSIONES	57
8. SUGERENCIAS	58
8.1 ALIMENTACIÓN BODEGA No. 4	58
8.2 ALIMENTADOR AL BARRAJE DE LA GRÚA.	58
BIBLIOGRAFÍA	62

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Características de la celda interruptor DM1-A	17
Cuadro 2. Características de los conductores AWG-XELP	17
Cuadro 3. Características de los seccionadores QM	19
Cuadro 4. Subestación patio de refrigerado	21
Cuadro 5. Transformadores circuito aéreo	23
Cuadro 6. Resultados Flujo de carga 2.1.1	31
Cuadro 7. Resultados Flujo de carga 2.1.2	32
Cuadro 8. Resultados Flujo de carga 2.1.4.	33
Cuadro 9. Resultados Flujo de carga 2.1.5	34
Cuadro 10. Elementos Sobrecargados en el sistema de potencia de la SPRBUN	34
Cuadro 11. Resultados flujo de carga 2.1.6	35
Cuadro 12. Perfiles de tensión derivados de la inclusión de la nueva carga.	36
Cuadro 13. Resultados flujo de carga 2.3.1	37
Cuadro 14. Cargas circuitos principales	41
Cuadro 15. Corriente máxima circuito aéreo	44
Cuadro 16. Corriente máxima circuito subterráneo	44
Cuadro 17. Corriente máxima circuito subterráneo tres conductores	44
Cuadro 18. Corto circuito grúas pórtico	48
Cuadro 19. Corto circuito Monofásico	49
Cuadro 20. Cortocircuito trifásico. Nodos principales	50
Cuadro 21. Nivel de cortocircuito según la impedancia en lo nodos principales	51
Cuadro 22. Cargabilidad de grupos electrógenos	52
Cuadro 23. Carga en Grupos Electrógenos	53
Cuadro 24. Barraje de grúas Pórtico	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Seccionadores en By pass que permite la realimentación del circuito de usuarios	12
Figura 2. Banco de Condensadores (izq.) en serie (der.) en paralelo	13
Figura 3. Nodo 415335	15
Figura 4. Celda interruptor DM1-A	16
Figura 5. Grúas Pórtico 1 y 2	18
Figura 6. Subestación No. 10, celdas compartimentadas	18
Figura 7. Puente de tomas a 440 V. contenedores refrigerados	20
Figura 8. Punto de encuentro entre tramo subterráneo y tramo aéreo del circuito aéreo	22
Figura 9. Instalación de conductores por tubería subterránea y tabla de capacidades de corriente	42
Figura 10. Capacidad de Corriente (Amperios) tres Cables Monopolares	43

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Diagrama Unificar SPRBUN	64
Anexo 2. Circuito General Aportes S, P y Q	65
Anexo 3. Arranque Tercera Grúa	66
Anexo 4. Cortocircuito Monofásico 3ra. Grúa	67
Anexo 5. Cortocircuito Monofásico Circuito Aéreo.	68
Anexo 6. Cortocircuito Trifásico 3ra. Grúa	69
Anexo 7. Cortocircuito Trifásico Circuito Aéreo	70
Anexo 8. Perfiles de Tensión derivados 3ra. Grúa	71
Anexo 9. Flujo de Carga	72
Anexo 10. Grúas Pórtico Aportes S, P y Q	73
Anexo 11. Cortocircuito Monofásico General	74
Anexo 12. Cortocircuito Trifásico General	75
Anexo 13. Cortocircuito Monofásico Tercera Grúa Pórtico	76
Anexo 14. Cortocircuito Trifásico Tercera Grúa Pórtico	77
Anexo 15. Perfiles de Tensión en Grúas Pórtico	78
Anexo 16. Flujo de Carga Grúas Pórtico	79
Anexo 17. Cortocircuito Monofásico Grúas Pórtico	80
Anexo 18. Cortocircuito Trifásico Grúas Pórtico	81

RESUMEN

Las grúas pórtico para carga de contenedores se fabrican en diferentes tipos, envergaduras y con brazos de varias medidas y están concebidas para las condiciones de cambio continuo que se dan en los puertos. Las grúas pórtico de carga se usan para la carga y descarga de buques porta contenedores. Estas grúas apiladoras se mueven sobre raíles, se fabrican con diversos radios de pluma. Las envergaduras van desde los 30 m hasta los 72 m. Estas grúas se usan sobre todo para grandes apilamientos en los puertos actuales.

La grúa tiene una estructura de acero estable y de movimiento rígido de alta calidad. Los sistemas de control de velocidad son más modernos (El sistema altamente desarrollado de control de la grúa y de vigilancia aporta datos extensos de funcionamiento y de rendimiento. Sistema mecánico comprobado para la amortiguación pendular de la carga.

Este documento contiene el resultado de los estudios tendientes a diagnosticar la afectación de las instalaciones eléctricas de la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura al conectar la tercera grúa pórtico.

Los estudios partieron de hacer un reconocimiento del referido sistema eléctrico con lo cual se elaboró el diagrama unifilar actualizado.

Así mismo contemplaron el cálculo de los factores de carga, demanda y pérdidas, necesarios para especificar los conductores alimentadores y efectuar simulaciones de flujo de carga y corto circuito.

Finalmente se revisó la cargabilidad de los grupos electrógenos existentes. Con esta actualización de los datos técnicos y prácticos consignados en el diagrama unifilar del sistema de potencia, el personal técnico de la SPRBUN tendrá una herramienta efectiva para la toma de decisiones acerca de las instalaciones de nuevas cargas eléctricas al sistema.

INTRODUCCIÓN

El diagnóstico del impacto causado por la conexión de una tercera grúa pórtico en el sistema eléctrico de potencia de **LA SOCIEDAD PORTUARIA REGIONAL DE BUENAVENTURA, SPRBUN**, parte de revisar y actualizar todo el sistema eléctrico de potencia de la misma, para identificar las posibilidades de futuras expansiones eléctricas.

El estudio partió de la actualización del diagrama unifilar y de las características de los equipos, tales como: impedancia, corriente, potencia y nivel de cortocircuito con lo cual se pudo determinar la capacidad expandible de la empresa con el circuito de alimentación existente.

Por otra parte, como los motores forman parte de la instalación, se estudiaron problemas derivados del arranque de dichas máquinas.

Los factores limitativos a considerar fueron la potencia contratada, la posición del punto de conexión más próximo, así como el calibre de los cables de alimentación.

En la actualidad la empresa ha dejado a un lado los controles que utilizan lógica cableada para recurrir a sistemas controladores digitales, ya que disminuyen el mantenimiento y optimizan los procesos para los cuales fueron diseñados. La capacidad y versatilidad que poseen estos sistemas hace que los gastos disminuyan proporcional y progresivamente.

Los variadores de velocidad son uno de estos equipos, ellos se basan en el principio de modificación de velocidad a través de la variación de frecuencia y se programan para cambiar la velocidad de manera controlada sin causar disturbios

en la red de alimentación. Además, alargan la vida útil del motor y de las piezas mecánicas al asignar rampas de aceleración – desaceleración a las maniobras con lo cual la velocidad aumenta progresivamente sin causar sobreesfuerzos, ni fatiga mecánica.

La utilización de variadores de velocidad se da en todos los motores que poseen las grúas pórtico.

1. RECONOCIMIENTO DEL SISTEMA DE POTENCIA ACTUAL DE LA SPRBUN

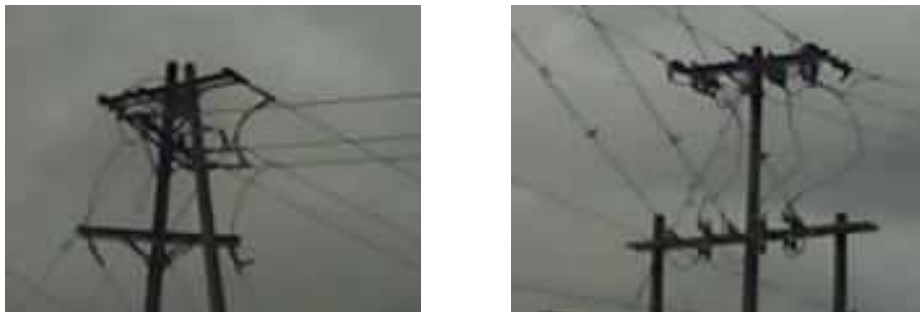
Con la ayuda del personal técnico de la empresa se realizó el reconocimiento del sistema eléctrico de potencia, identificando como se distribuyen cada uno de los circuitos pertenecientes a la SPRBUN y los componentes eléctricos que los conforman.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En el recorrido realizado al circuito de alimentación del sistema de potencia de la SPRBUN desde la subestación Tabor de la Empresa de Energía del Pacífico, EPSA, hasta la subestación No. 10, se evidenciaron las siguientes situaciones:

El nodo de partida cuenta con un seccionador tripolar de un solo tiro de media tensión que cierra de forma manual un by pass, en el evento de una falla en el circuito.

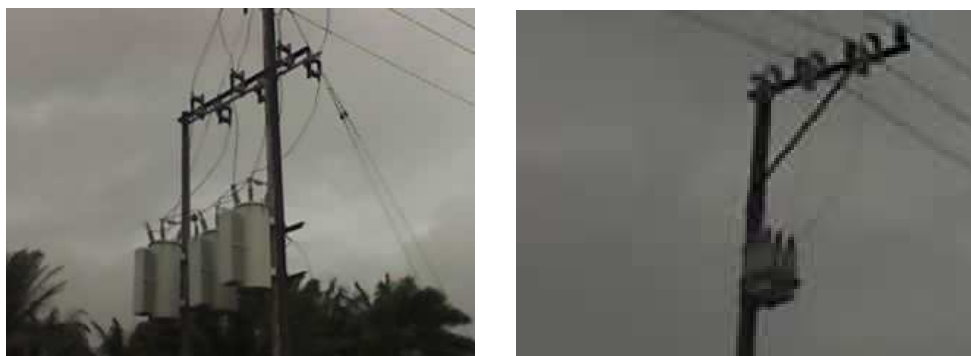
Figura 1. Seccionadores en By pass que permite la realimentación del circuito de usuarios.



Este seccionador está ubicado en la frontera con el circuito de usuarios de tal forma que si el servicio se interrumpe en el circuito de usuarios al cerrar los seccionadores todo el consumo queda siendo registrado por el medidor de la SPRBUN.

En su recorrido el circuito presenta dos bancos de condensadores en paralelo y uno en serie con una potencia de 150 kvar los cuales corrigen el factor de potencia y garantizan el flujo óptimo de potencia a la SPRBUN

Figura 2. Banco de Condensadores (izq.) en serie (der.) en paralelo



En el nodo # 415325 existe una derivación subterránea $3 \times 1/0$ AWG XLPE-15 kV, la cual alimenta un circuito aéreo que va desde ALMAGRARIOS hasta la puerta de entrada Pekín donde se derivan, la subestación No. 11, el edificio de la fundación SPRBUN y la policía anti-narcóticos, los transformadores del muelle petrolero y el horno incinerador.

En este circuito se encuentran ubicados dos transformadores de 75 kVA los cuales producen pérdida de potencia y pérdidas económicas ya que uno alimenta 18 luminarias de sodio 400 W equivalentes al 10.1% de la potencia nominal de este, ubicadas en el Patio de Minerales y el otro alimenta a los usuarios de los talleres y vulcanizadoras ubicados por fuera de las instalaciones de la SPRBUN, esto lo hacen de forma fraudulenta.

El circuito principal alimenta en su recorrido antes de llegar a la subestación número 10, tres transformadores de potencia los cuales están distribuidos así:

El primero con una potencia de 45 kVA.

Para alimentar las Oficinas de Enrolamiento. El segundo con una potencia de 200 kVA. Alimenta la báscula de Inspección de Exportaciones y el tercero con una potencia de 45 kVA. Alimenta las oficinas de la zona de Inspección de Exportaciones.

Los transformadores antes mencionados se encuentran por fuera de la subestación No 10 la cual alimenta el 85% del sistema de potencia de la SPRBUN, quedando estos bajo el control del OPERADOR de RED.

1.2 MEDICIÓN

La medición del servicio de la empresa se encuentra dentro de las instalaciones de la subestación EPSA Tabor, ubicando el medidor en el barraje de salida del transformador.

A la salida del circuito se encuentra un medidor de energía, serie Nro. MAXSYS – 8585897, con tele medida y características electrónicas con capacidad de registrar tanto potencia activa, como potencia reactiva, factor de potencia correspondiente y la matriz de consumo mensual.

La ubicación de este medidor en este punto hace que el circuito sea un alimentador interno como lo estipula la ley.

1.3 SUBESTACIÓN NÚMERO 10

Desde esta subestación se encuentra controlado el 85% de la carga de la SPRBUN ya que es aquí donde se encuentran ubicadas las celdas de protección QM las cuales controlan los diferentes circuitos del sistema de potencia de la SPRBUN.

Al llegar al nodo número 415335, el circuito que viene en conductor calibre 336.4 kcmil con una resistencia de 0.160 ohm, reactancia de 0.2800ohm y una longitud de 1.11km, baja a alimentar dos juegos de seccionadores de media tensión que distribuyen a dos circuitos subterráneos en conductor calibre 4/0 AWG 25kV con $R=0.164\text{ Ohm}$, $Xl = 0.3023\text{ Ohm}$ y $Xc = 11.123\text{ Ohm}$.

Figura 3. Nodo 415335



El primero de estos circuitos alimenta la acometida que llega a las Grúas Pórtico 1 y 2 las cuales están protegidas de la siguiente manera:

El circuito llega a una celda interruptor DM1-A, de este interruptor sale un circuito en calibre 4/0 AWG 15kV subterráneo con las mismas características de resistencia, reactancia y capacitancia del anterior y una longitud de 600 m, el cual llega a un par de celdas QM compartimentadas de 630 Amp c/u, para con estas proteger las Grúas Pórtico.

1.4 CIRCUITO GRÚAS PÓRTICO

Cada Grúa posee dos transformadores de potencia:

- Uno de 260 kVA, para servicios generales, iluminación, ascensor, motores ac y aires acondicionados.
- Un transformador de 1251 kVA maneja toda la parte reactiva de la grúa como los variadores de velocidad, rectificadores y otros.

Se tiene así una potencia total de 1511kVA por cada una de las Grúas y una potencia total de 3022 kVA entre las dos grúas, con lo cual la corriente de consumo del circuito es de 132.18 Amp a 13.2 kV.

La corriente de corto circuito en el nodo de alimentación es de 1.718 kA según norma IEC.

Figura 4. Celda interruptor DM1-A



La protección con que cuenta el circuito posee las siguientes características:

Cuadro 1. Características de la celda interruptor DM1-A

Celda Interruptor tipo	DM1-A
Corriente nominal	630 Amp.
Corriente de corto circuito	20 kA.
Tensión nominal	17.5 kV
Tensión de ruptura	90 kV.
Frecuencia	60 Hz.
Resistencia mecánica	10.000 operaciones a I_n según norma IEC 60265.
Resistencia eléctrica	40 aperturas a factor de potencia de 0.7 y 12.5kA.

El conductor alimentador del circuito Grúas Pórtico posee las siguientes características.

Cuadro 2. Características de los conductores AWG-XELP

Calibre	4/0 AWG - XELP
Corriente máxima a la intemperie	405 Amp
Corriente máxima en ducto subterráneo	295 Amp
Resistencia	0.0164 Ohm / Km.
Reactancia inductiva	0.2228 Ohm/ km.
Reactancia capacitiva	11123 Ohm/ km.
Tensión nominal	13.2 kV.
Nivel de corto circuito del conductor	2 kA a 30 Hz = $\frac{1}{2}$ s
Temperatura de operación	35 a 40 grados Celsius

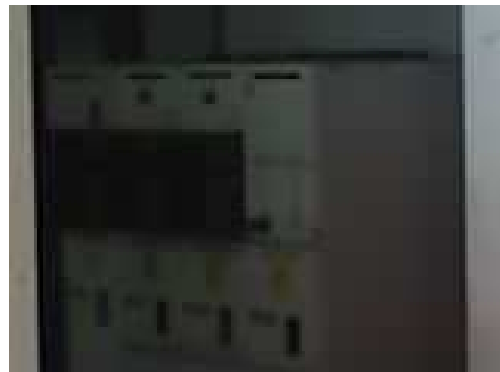
Figura 5. Grúas Pórtico 1 y 2



El segundo circuito que sale desde el nodo 415335 está construido en conductor 4/0AWG con las características ya mencionadas en el circuito anterior a diferencia de las temperaturas de operación.

Este circuito está protegido por un interruptor en celda DM1-A con las características ya mencionadas para este tipo de protección.

Figura 6. Subestación No. 10, celdas compartimentadas



Este interruptor es utilizado como protección del 85% del sistema de potencia de la SPRBUN y de este se derivan siete celdas compartimentadas QM a 13.2 Kv 630 Amp y estas poseen las siguientes características:

Cuadro 3. Características de los seccionadores QM

Corriente nominal	630 Amp
Tensión nominal	17.5 kV.
Resistencia mecánica	1000 operaciones según norma IEC 60265
Corriente de corto circuito	20 kA
Resistencia eléctrica	1000 operaciones a In factor de potencia 0.7
Tensión de ruptura	90 kV.

Cada una de estas celdas está equipada con fusibles del tipo HHVVU CF FUSAR, y estas a su vez protegen los siguientes ramales.

1.4.1 Subestación número 12. Alimenta un transformador de 150 kVA y una línea subterránea de 230 m, estos drenan una corriente de 6.56 Amp, posee fusibles de 15 Amp, el nivel de corto circuito de 1.954 kA y tensión de corto circuito del transformador es de 8,383 kV.

1.4.2 Transformador de Paraboloides. Con una potencia de 150 kVA ubicado dentro de la subestación número 10. Esta celda protege también un transformador de 75 kVA dentro de la misma subestación.

Con un nivel de corto circuito de 1.954 kA, y una tensión de corto circuito de 8,383kV.

1.4.3 Torres de alumbrado. La celda protege un transformador de 150 kVA ubicado dentro de la subestación número 10, encargado del alumbrado de dos torres de 20 luminarias de 400 W cada una.

1.4.4 Patio de refrigerados. Para este patio se tiene una celda interruptor tipo DM1-A con la cual protegen el circuito y un transformador de 3 MVA, diseñado para el suministro de potencia a 384 contenedores refrigerados, cada uno de ellos con corrientes promedio entre los 17 y los 50 Amp y tensión de operación de 440 V. Al final del circuito se encuentra un segundo interruptor de las mismas características de los interruptores DM1-A que protege el transformador y el barraje de alimentación.

Figura 7. Puente de tomas a 440 V. Contenedores refrigerados



Este transformador de marca ABB – TPL posee las siguientes características:

Cuadro 4. Subestación patio de refrigerado.

Potencia nominal	3 MVA.
Número de fases	3.
Tensión primaria	13.2 kV.
Clase de aislamiento	A0
Corriente de primario	131.2 Amp.
Tensión de cc (A0)	6.49%.
Nivel de aislamiento prim.	15kV.
N.B.A. (BIL)	110 kV.
Peso parte activa	3075 Kg.
N.S. y norma ANSI - IEC	200076
Tensión secundario	480/277 V.
Nivel de aislamiento sec.	1.2 kV.
Conexión	Dyn5.
Corriente secundario	3608.1 Amp.
Corriente de corto circuito	1.7 kA.
Nivel de aislamiento secundario	1.2 kV.
Soportabilidad al impulso tipo rayo (N.B.A.) secundario	45 kV.
Volumen de aceite	1.515 litros
Frecuencia	60 Hz

FUENTE: Datos tomados de placa del transformador.

La corriente de corto circuito del patio de refrigerados es de 30,219 kA, la tensión de corto circuito es $L1 = 8,383\text{kV}$ y la tensión entre $L1$ y $L2 = 14,520\text{ kV}$ y $Sk = 23030\text{ MVA}$.

1.4.5 Circuito aéreo. Este circuito parte desde la subestación número 10 y se encuentra protegido por fusibles de 100 Amp tipo HHVVU CF – FUSAR ubicados en celdas QM.

El primer tramo de este circuito sale en forma subterránea en conductor calibre 4/0 AWG, XLPE, con capacidad de corriente nominal de 295 Amp por ser circuito subterráneo, llegando hasta dos postes en H ubicados cerca del Patio de Refrigerados, con una longitud de 380 m.

Figura 8. Punto de encuentro entre tramo subterráneo y tramo aéreo del circuito aéreo



En este punto el circuito termina en un juego de seccionadores de media tensión que separan la parte subterránea de la parte aérea y se convierte en circuito aéreo

El tramo del circuito aéreo se encuentra construido en conductor 4/0 ASCR y capacidad de corriente de 470 Amp y termina frente al Muelle de Exportaciones con una longitud total de 1.2 km.

En su recorrido este circuito alimenta los siguientes transformadores.

Cuadro 5. Transformadores circuito aéreo.

Transformador de bombero	200 kVA.
Transformador de cafetería	300 kVA
Circuito edificio administrativo	400 kVA.
Bodegas 2 A y 3 A	225 kVA y 150 kVA.
Bodega 3	150 kVA.
Puerta Raimond	75 kVA
Patio de vehículos	75 kVA
Antiguas casas fiscales	75 kVA
Bodega número 4	225 kVA
Bodega número 6	225 kVA y 150 kVA

Está proyectado alimentar la nueva grúa pórtico de este mismo circuito, el cual hasta el momento posee una carga de 2305 kVA y una corriente de 102.9 Amp a 13.2 kV.

La nueva grúa pórtico poseerá dos transformadores de potencia los cuales estarán conectados en forma paralela a la red, el primero posee una potencia de 1500 kVA, 13.2 / 0.575 kV. Para el manejo de los motores y variadores de velocidad, el segundo transformador con una potencia de 300 kVA 13.2 / 0.460 kV. Para el manejo de servicios generales, como sistemas, aires acondicionados, ascensores y sistemas de comunicación con lo cual se conectará una potencia total de 1800 kVA y una corriente nominal de 78.82 Amp,

$1.500 \text{ kVA} + 300 \text{ kVA} = 1.800 \text{ kVA}$ a un nivel de tensión de 13.2 kV. La corriente a instalar es entonces:

$$\frac{1.800 \text{ kVA}}{13.2 \text{ kV} \times 1.7320} = 78.82 \text{ A}$$

Esta grúa posee variadores de velocidad de corriente alterna (CA/CA) o variadores de frecuencia. En los motores de corriente alterna a instalar la corriente de arranque varía entre 6 y 10 veces la corriente nominal. Los variadores de velocidad atenúan esta corriente disminuyéndola y dejándola en 3 veces la corriente nominal. Esta corriente se ve reflejada en el primario del transformador.

Con el factor de demanda de 0.51 la tercera grúa pórtico consumirá una potencia de 2295 kVA en el arranque simultáneo de sus motores principales.

Si el factor de demanda es 0.75 la potencia consumida por la tercera grúa será de 3375 kVA en el momento del arranque simultáneo de sus motores principales.

Dentro de la subestación de la Bodega 6 se encuentran instaladas 4 celdas QM 630 Amp que se distribuyen así:

- La primera protege la acometida del circuito.
- La segunda y tercera protegen los transformadores de 150 kVA y 225 kVA.
- La cuarta celda esta destinada a la protección de la tercera Grúa Pórtico.

Cuando entre en funcionamiento la tercera grúa pórtico, en el 2007, se sumarán 1800 kVA más y el circuito quedaría con una carga de 4105 kVA, y una corriente de 179.4 Amp. A un nivel de tensión de 13.2 kV y cuando se instalen la cuarta y quinta Grúa Pórtico la carga del circuito sería de 7705 kVA.

Para efectos de la tercera grúa el nodo tendrá una corriente de corto circuito de 1,235 kA con una tensión de corto circuito de 8,383 kV, L1 y L2 de 14,520 y Sk 28,246 MVA.

$$\frac{4105kVA}{13.2kV \times 1.7320} = 179.55A$$

1.5 ANOMALÍAS

El sistema eléctrico de potencia asociado a la SPRBUN presenta las siguientes anomalías:

- No existe protección contra descargas atmosféricas en la subestación número 10.
- El Patio de Inspección de Exportaciones posee dos transformadores de potencia protegidos solamente por un cortacircuito trifásico.
- En el patio de refrigerados el grupo electrógeno posee la bobina de precalentamiento en mal estado.

Los fusibles de protección de la celda QM que protege el circuito aéreo se encuentran sobrecargados.

$$\frac{2305kVA \times 1000}{13.2kV \times 1.7320} = (2.305 \times 1.000) \div 22.862 = 102.8Amp.$$

Cuando se instalen los 1800 kVA, a 13.2 kV de la tercera grúa pórtico el circuito alimentador de la bodega cuatro tendrá una potencia máxima de 2400 kVA para una corriente total de 107.28 Amp. Como el calibre del conductor que alimentará la tercera grúa es 1/0 AWG y este posee una capacidad de corriente máxima de 165 Amp. Como una grúa Pórtico mueve 30 contenedores en una hora esto significa 60 arranques de los motores en este tiempo y esta consume tres veces la

corriente nominal en el momento del arranque se puede decir que la corriente consumida será de 236 Amp. ya que estos arranques se consideran permanentes, con este criterio se puede decir que el alimentador actual no está diseñado para soportar esta corriente, ya que los pares y arranques de la carga serán en forma continua cuando esta entre en funcionamiento.

2. DIAGRAMA UNIFILAR

En el anexo se presenta el diagrama unifilar del sistema eléctrico de potencia asociado a las instalaciones de la SPRBUN elaborado a partir del reconocimiento relatado en el capítulo 1.

Este diagrama unifilar muestra en forma reducida el sistema de potencia de la SPRBUN desde el transformador de salida 25 MVA-115 kV/13.2 kV hasta el punto final de cada uno de los circuitos, también se especifica el alimentador principal del sistema eléctrico de potencia asociado a la SPRBUN

En este mismo se destacan los puntos de ubicación de la subestación proyectada para alimentar la tercera grúa pórtico.

3. FACTORES DE CARGA, DEMANDA Y PÉRDIDAS

Esta información fue entregada por funcionarios de la SPRBUN y de la empresa comercializadora de energía a la vez que fue necesario realizar estudios de cargabilidad, a partir de los registros de consumos de energía de la SPRBUN (kW/h mes) y potencia demandada (kW pico). Con estos datos se determinaron los flujos de carga para estimar los perfiles de tensión derivados de la inclusión de la tercera grúa.

Hasta ahora la SPRBUN ha realizado la inclusión de nuevas cargas sin realizar estudios previos de cargabilidad ni flujos de carga, lo cual ha causado que la misma desconozca sus valores de factor de carga, factor de demanda y factor de pérdida. Solamente conoce su factor de potencia porque este aparece en la factura comercial.

3.1 FACTOR DE CARGA

Es el cociente entre la carga media y la carga máxima durante un tiempo determinado, estando medidas las cargas media y máxima en las mismas unidades. Este se emplea para determinar el factor de pérdidas y el factor de demanda.

Factor de carga 0.91.

Factor de demanda 0.51.

Factor de pérdida 0.06.

Factor de potencia 0.984

Para determinar estos factores se realizaron los siguientes cálculos de acuerdo a la cantidad de transformadores que se tiene.

Tensión nominal 13.2 kV.

Calibre de alimentador principal 336.4 kcmil ASCR.

Corriente máxima de conductor 469 A.

Tomando la corriente máxima que puede transmitir el circuito alimentador principal y la tensión de alimentación, se obtiene la potencia o carga máxima disponible para la SPRBUN, así:

$$469 \text{ Amp} * 13.2 \text{ kV} * 1.7320 = 10722,465 \text{ VA.}$$

Entonces la potencia disponible es de 10.722 MVA.

Si se suma la potencia de los transformadores instalados se tendrá la carga total instalada.

La carga total instalada es de 9870 kVA = 9.87 MVA.

El factor de carga es $9.87/10.722 = 0.92$.

Para hallar el factor de demanda, según lo descrito en la norma NTC 2050 y el NEC, para toda instalación eléctrica distinta a las residenciales el factor de demanda parte de considerar los primeros 10 kVA de cada transformador y a estos sumar el 50% del resto de la potencia instalada, así:

Ejemplo: para un transformador de 225 kVA en una instalación industrial hallamos su factor de demanda de la siguiente forma:

$$225 \text{ kVA} = 10 + (215 * 0.5) = 117.5 \text{ kVA}$$

De esta forma el factor de demanda de la SPRBUN va a ser el siguiente:

$$5080 / 9870 = 0.51.$$

Entonces el factor de demanda de la SPRBUN es de: 0.51.

Para hallar el factor de pérdida sumamos todos los transformadores de 75 kVA que al momento se encuentra subutilizado y los dividimos sobre la carga total instalada así:

$$600 / 9870 = 0.06.$$

Se puede decir que el factor de pérdida de la SPRBUN es de: 0.06 = a 6%.

Este factor de pérdida se verá afectado debido a los calibres de los conductores y los perfiles de tensión al incluir la tercera grúa.

Con lo anterior los factores de demanda, carga y pérdida de la SPRBUN son los siguientes:

Factor de carga 0.91.

Factor de demanda 0.51.

Factor de pérdida 0.06 y

Factor de potencia 0.984

3.2 FLUJO DE POTENCIA

Para efectos de la simulación se corren los flujos de carga con diferentes factores de demanda con el fin de determinar con estos resultados el comportamiento de los conductores instalados y la capacidad máxima de corriente soportable por ellos.

Estas simulaciones arrojaron los siguientes resultados en todos los nodos.

3.2.1 Flujo de carga incluyendo grúa 3. Se corrió el flujo de carga aplicando factores de demanda dados en las normas NTC 2050 y NEC 2002 las cuales especifican que para cargas diferentes a las residenciales se aplica lo siguiente:

En todos los transformadores los primeros 10 kVA pasan plenos y la potencia restante se multiplica por 0,5.

Al correr un flujo de carga con esta condición se considera la conexión de la Grúa en el circuito y los valores arrojados fueron los siguientes:

Pérdidas de red en MW = 0,534160

Pérdidas de red en Mvar = 0,802757

Los límites inferiores de tensión violados son:

Cuadro 6. Resultados Flujo de carga 2.1.1

Nodo	Tensión en kV	Perfil en %	Caída de tensión
TORRE (ID=1227)	13.2	87,75	12.25%
SUB 12 (ID=1261)	13.2	87,78	12.22%
NODO GRUA 3 (ID=34744)	13.2	86,14	13.86%

Aplicando este concepto no hubo elementos Sobrecargados y el sistema funciona correctamente.

3.2.2 Flujo de carga sin considerar grúa 3. Se considera que la 3ª grúa está fuera de servicio, entonces se corre un flujo de carga con el resto de la carga y se obtienen los siguientes resultados.

El Flujo de Carga convergió después de 3 iteraciones.

Pérdidas de la red en MW = 0,242322

Pérdidas de la red en Mvar = 0,351984

Los límites inferiores de tensión violados son:

Cuadro 7. Resultados Flujo de carga 2.1.2

Nodo	Tensión en kV	Perfil en %	Caída de tensión
TORRE (ID=1227)		88,48	11.52%
SUB 12 (ID=1261)		88,51	11.49%

En estas condiciones funciona actualmente el sistema de potencia SPRBUN.

3.2.3 Flujo de carga con grúa 3 conectada en circuito grúas pórtico. Se corre un flujo de carga aplicando un factor de demanda de 0,52 en el circuito grúas pórtico y se obtuvo el siguiente resultado.

El Flujo de Carga convergió después de 3 iteraciones.

Pérdidas de la red en MW = 0,057011

Pérdidas de la red en Mvar = 0,127227

No se violaron límites de tensión, se recomienda entonces instalar en este punto la nueva carga. Este circuito posee la suficiente capacidad para el manejo de la carga. Aunque la 3ª grúa consume 3 veces la corriente nominal el circuito resiste la carga.

3.2.4 Flujo de carga con la Grúa 3 conectada en circuito aéreo y aplicando 0,75 como factor de carga. Se corre un flujo de carga aumentando el factor de carga a 0,75 en cada transformador y se obtienen los siguientes resultados.

El Flujo de Carga convergió después de 3 iteraciones.

Pérdidas de la red en MW = 0,334539

Pérdidas de la red en Mvar = 0,553304.

Los límites inferiores de tensión violados son:

Cuadro 8. Resultados Flujo de carga 2.1.4.

Nodo	Tensión en kV	Perfil en %	Caída de tensión
GRÚA 3 (ID=34744)	13.2	89,77	Se evidencia una caída de tensión de 10.23%

Los límites de tensión violados se presentan en el punto de conexión de la 3ª grúa con un perfil de tensión de 89.77% y un factor de carga máximo de 75% de la carga. Esto con la 3ª grúa trabajando solamente con su corriente nominal.

3.2.5 Flujo de carga tercera grúa con la corriente de arranque. Se corre fluido de carga aumentando la corriente nominal de la 3ª grúa en 3 veces su factor de carga = $0,75 \times 3 = 2.25$ MVA se analizan los resultados y se concluye. Se realiza también un análisis de los perfiles de tensión arrojados por la simulación y se llevan a una tabla, analizando las pérdidas de potencia arrojados por la simulación.

El flujo de Carga convergió después de 5 iteraciones.

Pérdidas de la red en MW = 0,873490

Pérdidas de la red en Mvar = 0,234632

Los Límites Inferiores de tensión violados son:

Cuadro 9. Resultados Flujo de carga 2.1.5

Nodo	Tensión en kV	Perfil en %	Caída de tensión
CIRCUITO AÉREO (ID=1279)	13.2	75,25	24.75%
BODEGA (ID=1378)	13.2	74,35	25.65%
3 (ID=34929)	13.2	73,88	26.12%
EDIFICIO ADMINISTRATIVO	13.2	70,77	29,23%
CAFETERÍA (ID=1456)	13.2	70,66	29.34%
BOMBEROS (ID=1452)	13.2	72,69	27.31%
PATIO REFRIGERADO (ID=1172)	13.2	89,19	10.81%
NODO GRÚA 3 A (ID=34909)	13.2	70,06	29.94%
BODEGA 3A (ID=1462)	13.2	72,68	27.32%
GRÚA 3 (ID=34744)	13.2	50,39	49.61%
BODEGA 4 (ID=34762)	13.2	72,34	27.66%
BODEGA 6A (ID=34768)	13.2	72,06	29.94%
BODEGA 6 (ID=34765)	13.2	72,05	27.95%

Cuadro 10. Elementos Sobrecargados en el sistema de potencia de la SPRBUN

Nodo	Tensión en kV	Sobrecarga en %
LÍNEA SUBTERRÁNEA (ID=1091)	13.2	200,95
LINEA AÉREA (ID=1282)	13.2	198,84

Se presenta una sobre carga de un 200,95% en el alimentador principal de la subestación 10 y una sobrecarga de 198,84% en la parte subterránea del circuito aéreo,

3.2.6 Flujo de carga tercera grúa en circuito grúas pórtico. Se corre el flujo de carga con la 3ª grúa en el momento de arranque instalada en el circuito grúas pórtico.

No hay límites violados

Flujo de Carga convergió después de 3 iteraciones.

Pérdidas de red MW = 0,299630

Pérdidas de red Mvar = 0,092369

Los límites Inferiores de tensión Violados son.

Cuadro 11. Resultados flujo de carga 2.1.6

Nodo	Tensión en kV	Perfil en %	Detalle
NODO GRUA 3 (ID=35146)	13.2	u% = 85,75	Se evidencia una caída de tensión de 13,25%

No se presentó sobrecarga en el circuito, el flujo corrió sin presentar fallas.

3.3 PERFILES DE TENSIÓN DERIVADOS DE LA INCLUSIÓN DE LA NUEVA CARGA

Son las tensiones derivadas en los barrajes de un sistema de potencia cuando se realiza un flujo de carga. La tensión decae parcialmente mientras la corriente aumenta para conservar la potencia.

Se corre un flujo de carga con el máximo factor de demanda para determinar los perfiles de tensión derivados de la inclusión de la nueva carga en el sistema de potencia de la SPRBUN.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

No hay límites violados

El flujo de carga convergió después de 3 iteraciones arrojando los siguientes resultados.

Las pérdidas de la red en MW = 0.875470

Las pérdidas de la red en Mvar = 0.237682

Cuadro 12. Perfiles de tensión derivados de la inclusión de la nueva carga.

Nodo	Tensión en kV	Perfil en %	Caída de tensión
CIRCUITO AÉREO (ID=1279)	13.2	u% = 75,24	24.76%
NODO BODEGA (ID=1378)	13.2	u% = 74,34	25.66%
NODO 3 (ID=34929)	13.2	u% = 73,88	26.12%
EDIFICIO ADMINISTRATIVO (ID=1449)	13.2	u% = 70,76	29,24%
CAFETERÍA (ID=1456)	13.2	u% = 70,65	29.35%
BOMBEROS (ID=1452)	13.2	u% = 72,68	24.32%
PATIO REFRIGERADO (ID=1172)	13.2	u% = 89,19	10.81%
NODO GRÚA 3 A (ID=34909)	13.2	u% = 70,06	29.94%
BODEGA 3A (ID=1462)	13.2	u% = 72,67	27.33%
NODO GRÚA 3 (ID=34744)	13.2	u% = 50,37	49.63%
NODO BODEGA 4 (ID=34762)	13.2	u% = 72,33	27.67%
NODO BODEGA 6 (ID=34765)	13.2	u% = 72,04	27.96%
NODO BODEGA 6 A (ID=34768)	13.2	u% = 72,05	27.95%

Al correr este flujo de carga con los factores de carga dimensionados los valores de sobrecarga en la línea de alimentación del circuito subterráneo son los siguientes:

LÍNEA SUBTERRÁNEA (ID=1091) i/s% = 200.99
LÍNEA AÉREA (ID=1282) i/s% = 198.90

Una vez más se determina la debilidad del alimentador principal de la subestación No. 10 y el tramo subterráneo del circuito aéreo. Cuando se encuentre en su máxima demanda, estos 2 circuitos deben ser reforzados con 2 - 4/0 AWG-XLPE por fase para aumentar la capacidad de potencia de la SPRBUN.

Con la inclusión de la nueva carga en este punto se evidencia una caída de tensión en el nodo grúas pórtico de un 13.86%.

Límites Inferiores de Tensión Violados.

Cuadro 13. Resultados flujo de carga 2.3.1

Nodo	Tensión en kV	Perfil en %	Detalle
GRUA 3 (ID=35146)	13.2	u% = 86.13	Se evidencia una caída de tensión de 13,25%

Se evidencia la caída de tensión debido al calibre del conductor alimentador 1/0 AWG XLPE, este debe ser reforzado por un mayor calibre 2/0 AWG o 4/0 AWG XLPE MV-90 15 KV.

La potencia del circuito en este punto será $1800\text{kVA} + 650\text{ kVA} = 2450\text{ kVA}$

$$\frac{2450\text{kVA}}{13.2\text{kV} \times 1.7320} = 107.28\text{A}$$

Con este nivel de corriente el conductor a instalar debe ser del calibre 2/0 AWG XLPE que tiene una capacidad de corriente de 200 Amp. en tubería subterránea a un nivel de tensión de 13.2 kV en el circuito alimentador de la tercera grúa.

3.4 PÉRDIDAS

Las pérdidas dentro del sistema de potencia de la SPRBUN son en su mayoría por la subutilización de algunos transformadores de 75 kVA, los cuales utilizan en algunos casos el 10% de su carga nominal y en otros utilizan el 3% de la misma, estos transformadores están ubicados en el muro perimétrico del Patio de Vehículos y Casas Fiscales, el primero maneja 18 luminarias de sodio de 400 W

equivalentes al 10% y el otro maneja 6 luminarias de sodio de 400 W equivalentes al 3% de la potencia nominal.

$$\frac{7200W}{71250.W} \times 100 = 10.1\%$$

$$\frac{2400W}{71250W} \times 100 = 3.36\%$$

3.4.1 Pérdidas en circuitos de media tensión. Se dan principalmente por el calibre de los conductores, derivados del circuito aéreo y alimentan las bodegas y edificios.

Si se suman las demandas de carga de cada uno de los transformadores de 75 kVA se determina que la utilización total de estos transformadores es del 24% de la potencia para la que han sido diseñados.

Los transformadores alcanzan su máximo punto de eficiencia cuando poseen el 100% de su carga nominal, de lo contrario estos solamente consumen reactivos ocasionando deterioro en la onda de tensión los cuales ocasionan armónicos en la red.

También se dan pérdidas por alta debido al calibre de las derivaciones. Por ser circuitos subterráneos poseen mayor capacitancia y resistencia debido a que estos están constantemente sometidos a su propio campo eléctrico y la temperatura que demandan por la falta de refrigeración.

Esto produce pérdidas por efecto Joule lo cual termina en altas temperaturas del conductor.

Para evitar estas pérdidas se deben utilizar conductores de mayor sección o calibre.

3.4.2 Pérdidas en circuitos de baja tensión. El cálculo de las acometidas para los circuitos secundarios es el siguiente:

Corriente Nominal del transformador es =

$$\text{Transformador} = \frac{kVA \times 1000}{V_n \times \sqrt{3}} \times 1.25 = \frac{225 \times 10^3 VA}{220 \times \sqrt{3}} \times 1.25 =$$

Luego de hallada la corriente se acude a la tabla de capacidad de corrientes y se elige el calibre del conductor.

3.4.3 Pérdidas no técnicas. Otro tipo de pérdidas en circuitos de baja tensión dentro de la SPRBUN es el suministro de energía a clientes externos a esta como lo es el caso de las vulcanizadoras ubicadas en el sector denominado como “La perrera” desde un transformador de 75 kVA, ubicado dentro de las instalaciones de la empresa ELEQUIP el cual se encuentra conectado al circuito aéreo de la SPRBUN y suministra toda su potencia a estos usuarios.

Otro caso lo conforman algunos kioscos de alimentos del mismo sector que se alimentan del transformador de 45 kVA de las oficinas de enrolamiento.

4. CÁLCULO DE CONDUCTORES

El sistema de potencia la SPRBUN utiliza conductores de polietileno reticulado XLPE, 15 kV instalados en forma subterránea. Este conductor es denominado por el fabricante como MV-90 15 kV.

Cuando se realizan cálculos para la instalación de conductores en ducto subterráneo, se deben tener en cuenta como parámetros de análisis los siguientes factores:

- In. : Corriente nominal
- V. : Tensión de operación
- R. : Resistencia del conductor
- P. : Potencia máxima
- T. : Temperatura de operación
- L. : Longitud del conductor.

Para estos cálculos de conductores se tienen en cuenta la capacitancia, la impedancia, la temperatura de funcionamiento, la humedad, la longitud, la carga mínima y el campo eléctrico.

Esto hace que los conductores normales se vean sometidos a esfuerzos diferentes. En los conductores la capacidad de corriente se disminuye por la temperatura de operación.

Las capacidades de corriente a temperatura ambiente distinta a la de las tablas se deben calcular de la siguiente forma:

$$I_2 = I_1 \sqrt{\frac{TC - TA_2 - ATD}{TC - TA_1 - ATD}}$$

I_1 = Capacidad de corriente en tablas para temperatura ambiente.

I_2 = Capacidad de corriente para una temperatura TA_2

T_c = Temperatura del conductor.

TA_1 = Temperatura ambiente de tablas.

TA_2 = Temperatura ambiente deseada.

ATD = Aumento de Temperatura por pérdida del Dieléctrico.

El sistema de potencia de la SPRBUN está en su gran mayoría construido en conductor de cobre con calibres entre 1/0 y 4/0 AWG – XLPE 15 kV. en circuito subterráneo, pero en algunos sectores este conductor no soportará la corriente que pasará cuando se incluya la nueva carga.

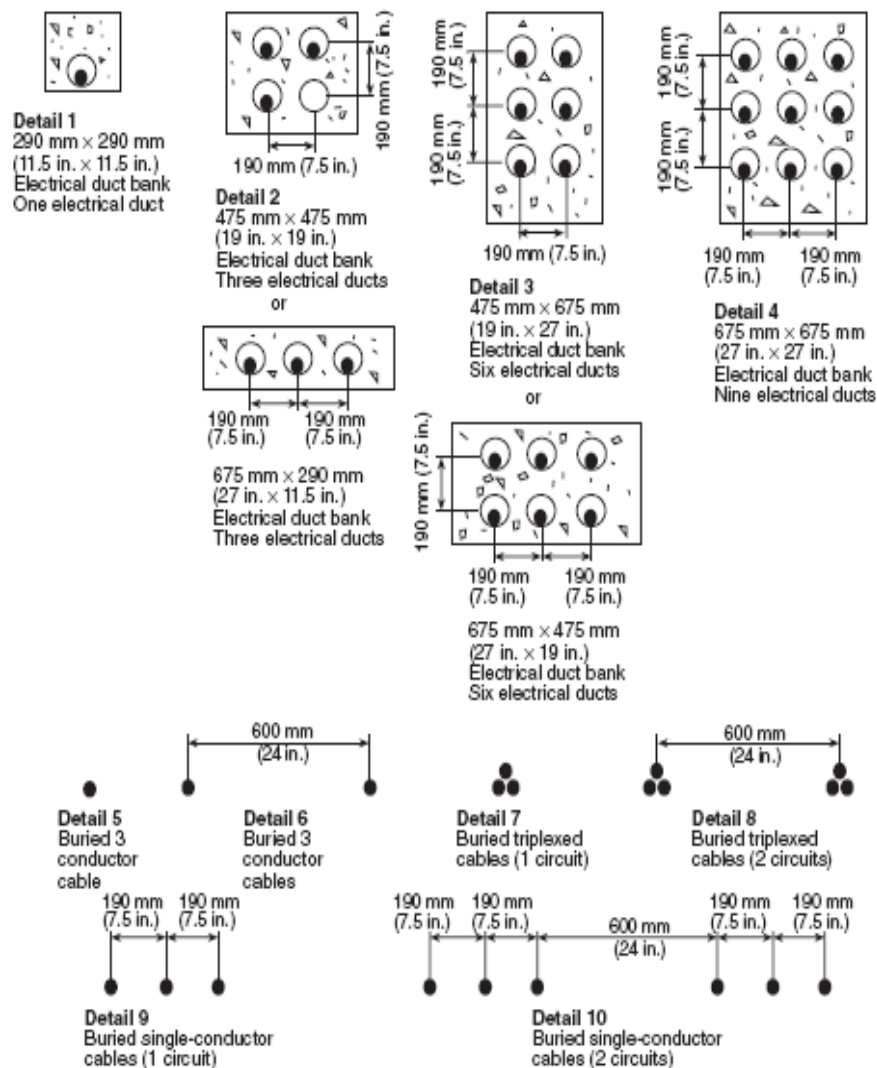
Cálculo de alimentadores principales de los diferentes circuitos para la inclusión de la nueva carga:

Cuadro 14. Cargas circuitos principales.

CKTO	Potencia en kW	Corriente en Amp.	Calibre actual	Calibre recomendado
Sub. No. 10	7255	315,33	4/0	2 - 4/0 por fase
Grúas Pórtico	3000	131,22	4/0	4/0 por fase
Circuito Aéreo	4255	186,11	4/0	2 - 4/0 por fase
Bodega No. 6	2450	107,16	4/0	4/0 por fase

Para los cálculos del cuadro 15 se incluye la tercera grúa instalada en el circuito de la Bodega No. 6 y se toma solamente la corriente nominal de las grúas 1 y 2. Para las recomendaciones se toma la corriente de arranque de la tercera grúa.

Figura 9. Instalación de conductores por tubería subterránea y tabla de capacidades de corriente.



FUENTE: NTC 2050 CAPITULO 3 FIG 310-1 TABLA 310-77 y CENTELSA CATALOGO TODO MEDIA TENSION PAG 73.

Se permite que la separación entre los conductos (canalizaciones) eléctricos, tal como los define la figura, sea inferior cuando esos conductos entren en encerramiento de equipos desde una canalización subterránea sin necesidad de reducir la capacidad de corriente de los conductores instalados en dicho conducto o canalización.

Figura 10. Capacidad de Corriente (Amperios) tres Cables Monopolares.

**Capacidad de Corriente (Amperios)
Tres Cables Monopolares**



Instalación en conductos eléctricos subterráneos (tres conductores por cada conducto eléctrico).
Temperatura ambiente 20°C.
Factor de carga 100%.
Resistencia térmica (ρ) de 90.
Temperatura del conductor 90°C y 105°C.

CALIBRE AWG o kcmil	ÁREA (mm ²)	CONDUCTOR EN COBRE ¹											
		UN CIRCUITO - FIGURA 1				TRES CIRCUITOS - FIGURA 2				SEIS CIRCUITOS - FIGURA 3			
		2001 a 5000V		5001 a 35000V		2001 a 5000V		5001 a 35000V		2001 a 5000V		5001 a 35000V	
		90°C	105°C	90°C	105°C	90°C	105°C	90°C	105°C	90°C	105°C	90°C	105°C
8	8.36	64	69	-	-	56	60	-	-	48	52	-	-
6	13.3	85	92	90	97	73	79	77	83	62	67	64	68
4	21.1	110	120	115	125	95	100	99	105	80	86	82	88
2	33.6	145	155	155	165	125	130	130	135	105	110	105	115
1	42.2	170	180	175	185	140	150	145	155	115	125	120	125
1/0	53.5	195	210	200	215	160	175	165	175	135	145	135	145
2/0	67.4	220	235	230	245	185	195	185	200	150	160	150	165
3/0	85.0	250	270	260	275	210	225	210	225	170	185	170	185
4/0	107	290	310	295	315	235	255	240	255	195	210	190	205
250	127	320	345	325	345	260	280	260	280	210	225	210	225
350	177	385	415	390	415	315	335	310	330	250	270	245	265
500	253	470	505	465	500	375	405	370	395	300	325	290	310
750	380	585	630	565	610	460	495	440	475	365	395	350	375
1000	507	670	720	640	690	525	565	495	535	410	445	390	415

4.1 DIAGNÓSTICO

De acuerdo a lo contemplado en la norma NTC 2050 y el NEC, la máxima corriente que soporta un conductor XLPE instalado bajo condiciones de intemperie o por ducto subterráneo es la siguiente.

Cuadro 15. Corriente máxima circuito aéreo.

Intemperie	4/0 AWG-XLPE
Tensión kV	5kV a 35 kV
Corriente en Amp.	405 A

Cuadro 16. Corriente máxima circuito subterráneo.

Ducto subterráneo un conductor por ducto	4/0 AWG-XLPE
Tensión kV	5kV a 35 kV
Corriente en Amp.	295 A

Cuadro 17. Corriente máxima circuito subterráneo tres conductores.

Ducto subterráneo tres conductores por ducto	4/0 AWG-XLPE
Tensión kV	5kV a 35 kV
Corriente en Amp.	295 A

Los valores anteriores funcionando con un factor de carga del 100%

Bajo estas condiciones se observa que la potencia máxima que el circuito puede soportar está dada por:

$$V \times I = S.$$

Como la tensión de alimentación del sistema es de 13.2 kV.

$V \times I = 13.2 \text{ kV} \times 295 \text{ Amp} = 3.89 \text{ MVA}$, teniendo un factor de potencia unitario.

Con estas condiciones de observación y análisis y con los tipos de conductores con que cuenta el circuito y la potencia máxima que por este circula si su factor de carga es entre 0.90 y 1 y el factor de potencia actual de 0.984, los conductores del alimentador del circuito subterráneo principal, el circuito aéreo y el alimentador del circuito Bodega 4 - 6 no estarían en capacidad de soportar la inclusión de la nueva carga.

$$2305 \times 0.52 = \frac{1198.6 \times 10^3}{22862} = 75 \text{ Amp.}$$

Con un factor de demanda de 0,52 la corriente del circuito aéreo es de 75,61 Amp. Conservando el factor de potencia actual.

Con una demanda de 0,75 y un factor de potencia muy por debajo del normal de 0,85 la corriente demandada por el circuito es de 88,95 Amp.

- Para entrar a conectar la tercera grúa en el punto estipulado hasta el momento se debe realizar lo siguiente:

Disminuir las pérdidas en circuitos de media tensión haciendo que los perfiles de tensión sean lo más alto posible, logrando así una máxima eficiencia y aprovechamiento de la potencia suministrada, esto se logra reduciendo la resistencia en ohmios de los conductores alimentadores de la siguiente forma:

4.2 ALIMENTADOR SUBTERRÁNEO SUBESTACIÓN No. 10

En el momento se encuentra construido en conductor calibre 4/0 AWG – XLPE, un conductor por fase con una resistencia de 0.64 ohmios.

Para disminuir la resistencia y aumentar el flujo de potencia por este se debe realizar lo siguiente. Aumentar a dos conductores por fase calibre 4/0 AWG – XLPE en paralelo de esta forma la resistencia se reduce a:

$$(0,164 \times 0,164) \div 0,164 + 0,164 = 0,0268 \div 0,328 = 0,082$$

Se tendrá entonces en el circuito una resistencia de 0.082 ohmios con una capacidad de corriente de 590 Amp.

4.3 CIRCUITO AÉREO – TRAMO SUBTERRÁNEO

En este tramo se debe realizar el mismo cambio en el alimentador principal. Aumentando a dos conductores calibre 4/0 AWG-XLPE por fase. De esta forma el tramo subterráneo tendrá los mismos valores que el alimentador principal.

Se debe cambiar el alimentador de la subestación bodega No. 6 de 1/0 AWG XLPE a 4/0 AWG XLPE y así el conductor soportará los esfuerzos causados por el arranque de la 3ª grúa. Este pasará de una capacidad de corriente de 135 Amp. a 13.2 kV. a 295 Amp. a 13.2 kV.

Por otro lado como en el futuro las bodegas 4, 5 y 6 tienden a desaparecer, entonces realizar estos trabajos en este punto sería inoficioso.

Por lo tanto la SPRBUN debe hacer lo siguiente: instalar la tercera grúa en circuito grúas Pórtico existente ya que este si posee la capacidad suficiente para el manejo de la carga.

Este circuito está construido en conductor calibre 4/0 AWG – XLPE, un conductor por fase con una resistencia de 0,164 ohmios y una capacidad de corriente de 295 Amp. en condición subterránea.

La SPRBUN posee una carga instalada de 9.870 kVA = 9.87 MVA y una potencia de suministro de 10.722 kVA.

Con la inclusión de la nueva grúa su carga instalada quedará en 12.522 kVA y su factor de carga será de $12.522 \div 10.722 = 1,16$.

La SPRBUN debe traer un circuito alimentador desde el punto de salida del medidor ubicado en la subestación EPSA El Tabor hasta la subestación No. 10. Este circuito debe ser construido paralelo al existente y ser destinado solamente a la alimentación de las grúas pórtico, el calibre del conductor de este circuito será 250 kcmil ASCR garantizando así la posibilidad de instalar en el las cinco grúas Pórtico proyectadas a largo plazo.

El circuito existente en calibre 336.4 kcmil ASCR quedaría disponible para alimentación del resto de la carga y las futuras expansiones.

5. SIMULACIONES PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE CORTOCIRCUITO

Los niveles de corto circuito en cada uno de los transformadores de las grúas Pórticos y de los diferentes circuitos que conforman la SPRBUN se calcularon siguiendo las recomendaciones de la Norma IEC 60909 2001 para fallas trifásicas en los diferentes circuitos y utilizando el software de simulación NEPLAN 5.2.4.

Cuadro 18. Corto circuito grúas pórtico.

Nodo	Impedancia Z o Reactancia X	Tensión	Poten. Trafo	I nominal	Icc - Ka	SK - MVA
EPSA	0,33 %	13.2 kV	-	295 A	2,187	50,000MVA
SPRBUN	0,3022	13.2 kV	-	295 A	2,122	48,520
Grúas P.	0,3022	13.2 kV	-	295 A	2,088	47,731
Grúa 1	0,3022	13.2 kV	-	295 A	2,054	46,965
Grúa 2	0,3022	13.2 kV	1.251 kVA	295 A	2,054	46,965
Grúa 3	0,3022	13.2 kV	1.500 Kva	295 A	2,041	46,653
N Grúa 1	4,41 %	0,575 kV	1.251 kVA	1256 A	18,618	18,542
N Grúa 1 A	4%	0,460 kV	260 kVA	326,33 A	7,649	6,094
N Grúa 2	4,41 %	0,575 kV	1.251 kVA	1256 A	18,618	18,542
N Grúa 2 A	4%	0,460 kV	260 kVA	326.33 A	7,649	6,094
N Grúa 3	4,41 %	0,575 kV	1.500 kVA	1506.17 A	20,636	20,552
N Grúa 3 A	4%	0,460 kV	300 kVA	376.54 A	8,645	6,887

Cuadro 19. Corto circuito Monofásico.

Nodo	Tensión kV	Potencia kVA	Corriente Nominal, A	Corriente corto circuito, kA	Potencia corto circuito SK, MVA
EPSA	13,2	10.772	465	1.648	12.561
SPRBUN	13,2	10.772	465	1.518	11.568
Sub II A	0,22	225	590.48	26,407	3.354
Sub II	13,2	525	22.96	1.445	11.011
Fundación	0,22	200	524.87	41.741	5.303
SPRBUN Prin	13,2	8937	465	1.510	11.510
Sub 10	13,2	8937	465	1.503	11.453
Paraboloide	13,2	225	9,84	1.502	11.444
Exportación	0,44	200	262,46	24.117	3.063
Paraboloide 1	0,22	150	393.65	14.415	1,83
Grúa 1	0,58	1250	1.256,15	20.580	6.891
Grúas	13,2	3022	2.512,3	1.424	10.853
Grúa 2	0,58	1250	1.256,15	20.580	6.891
Bodega 4	0,22	225	590,48	29.116	3.698
Bodega 6	0,22	375	984,14	157.482	20.003
Refrigerado	0,44	3000	3.012	39.368	10.001
Grúa 3	0,58	1500	1.506,17	22.919	7.675
Bodega 3	0,22	150	393,65	18.571	2.359
Bodega 3 A	0,22	225	590,48	26.354	3.354
Bodega 3 A1	0,22	150	393,65	18.571	2.359
Cafetería	0,22	300	787,31	41.609	5.285
Bomberos	0,44	200	262,46	11.927	3.030
Administración	0,22	400	1.049,75	41.609	5.285

Cuadro 20. Cortocircuito trifásico. Nodos principales.

Nodo	Tensión kV	Potencia kVA	Corriente Nominal, A	Corriente corto circuito, kA	Potencia corto circuito Sk, MVA
EPSA	13,2	10.772	465	2.187	50
Línea SPRBUN	13,2	10.772	465	1.975	45.147
Subes II	13,2	525	22.96	1.857	42.468
SPRBUN	13,2	8937	465	1.962	44.887
Sub 10	13,2	8937	465	1.950	44.590
Grúas	13,2	3022	140	1.824	41.711
Circuito aéreo	13,2			1.835	41.960
3ª. grúa	13,2	1800	75	1.794	41.024

Todas las simulaciones y sus resultados se encuentran en las páginas de anexos.

De acuerdo a las simulaciones realizadas los valores de cortocircuito arrojados para estas impedancias son los siguientes:

Cuadro 21. Nivel de cortocircuito según la impedancia en lo nodos principales.

Nodo	Tensión en kV	I_k kAmp	Z en %
EPSA	13.2	1.986	-
Alimentador SPRBUN	13.2	1.819	-
Subestación 11	13.2	1.708	2
Fundación	13.2	24.997	2
Llegada SPRBUN	13.2	1.805	-
Grúas Pórticos	13.2	1.718	4,16
Subestación 10	13.2	1.797	-
Circuito aéreo	13.2	1.156	-
Bodega 4	13.2	1.134	2
Patio de refrigerados	13.2	2.139	7,1
Transformadores de 75	13.2	2.112	0,85
Exportación	13.2	2.557	2

6. REVISIÓN DE LA CARGABILIDAD DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS EXISTENTES

Se tomaron los datos de carga de cada grúa pórtico y de las cargas instaladas en la SPRBUN, con el fin de determinar las consideraciones de diseño y la posibilidad de alimentar estas a través de los grupos electrógenos existentes por medio de un transformador elevador de tensión de 440V a 13.2kV.

Cuadro 22. Cargabilidad de grupos electrógenos.

Grupo	Ubicación	Tensión kV	Potencia kVA	Potencia kW	Demanda
1	Bodega No. 5	0,22	568,0	455	1.056
2	Bodega No. 3	0,22	312,5	250	0.96
3	Subestación 10	0,22	312,5	250	0.72
4	Edificio administración	0,22	437,5	350	0.91
5	Subestación II	0,22	312,5	250	0.96
6	Patio refrigerados	0,44	1875,0	1250	1.6
7	Bodega Alcázar	0,22	312,5	250	1.2
	TOTAL		4130,5	3055	1.058

6.1 GRUPOS ELECTRÓGENOS

La SPRBUN cuenta con siete grupos electrógenos con una capacidad total de 4130 kVA instalada a dos niveles de tensión con diferentes potencias e impedancias.

Posee un grupo electrógeno con una potencia de 1875 kVA y seis grupos electrógenos con una potencia total de 2155.5 kVA.

Estos grupos electrógenos están instalados para suplir la necesidad de potencia en caso de falla durante un período continuo 24 horas al día, ocho días a la semana ya que son clasificados como tipo base.

Los grupos electrógenos existentes en la SPRBUN son siete, ubicados así:

Cuadro 23. Carga en Grupos Electrógenos.

Grupo	Ubicación	Tensión kV	Carga atendida kW
1	Bodega No. 5	0,22	455
2	Bodega No. 3	0,22	250
3	Subestación 10	0,22	250
4	Edificio administración	0,22	350
5	Subestación II	0,22	250
6	Patio refrigerados	0,44	1250
7	Bodega Alcázar	0,22	250
	TOTAL		3055

Como resultado de estos análisis se recomienda adelantar un estudio particular tendiente a definir el esquema operativo de atención suplementaria a las grúas pórtico 2 y 3 en situaciones contingentes.

Dicho estudio debe especificar el número y disposición de los grupos electrógenos requeridos, así como sus potencias, niveles de tensión, ciclo de operación (Emergency, Prime o Base) en correspondencia con los requerimientos del sistema eléctrico asociado a las grúas pórtico 2 y 3.

Como complemento se deben hacer los estudios económicos (relación beneficio-costos) y financieros que sustenten su adquisición o no.

6.1.1 Sistema de contingencia. La SPRBUN cuenta con un sistema de contingencia de siete grupos electrógenos destinados a la alimentación del alumbrado de los patios y bodegas, las pequeñas cargas y el edificio administrativo. Esto lo realiza con seis de los siete grupos electrógenos a 0.22 kV, el 7º grupo a 0.44 kV está destinado para la alimentación del patio de contenedores refrigerados. Estos grupos electrógenos están ubicados en los puntos más críticos de la empresa con una potencia total de 4780 kVA

Cada grúa pórtico posee una demanda de 1500 kVA a una tensión de 13.2 kV tomados directamente de la red de suministro.

Las grúas pórtico poseen una subestación eléctrica de 1500 kVA alimentada por medio de una línea de media tensión a 13.2kV. No obstante a esto los equipos no cuentan con un grupo electrógeno interno para suplir las emergencias.

Una posibilidad de suplir la demanda de potencia en los momentos de falla y lograr poner a trabajar al menos dos grúas pórtico por medio de grupos electrógenos es la conexión de generadores en paralelo, para este proceso se deben tener en cuenta algunos parámetros como son:

- Tensión.
- Frecuencia.
- Secuencia de fase.
- Ángulo de fase.

6.1.1.1 Tensión. Todos los grupos electrógenos deben ser a un mismo nivel de tensión significa que su tensión de salida debe ser 220 V o 440 V.

6.1.1.2 Frecuencia. Su frecuencia de generación debe ser ajustada a un mismo valor 60 Hz.

6.1.1.3 Secuencia de fase. La secuencia de las fases debe ser la misma esto es RR, SS, TT.

6.1.1.4 Ángulo de fase. El Ángulo de fase de todos los generadores debe ser el mismo. Como todos los generadores son trifásicos entonces se deben ajustar a 120 grados de desfase.

La suma de los grupos electrógenos existentes a 220 V no da la potencia suficiente para suplir la demanda de la SPRBUN por lo tanto la mejor solución es la adquisición de nuevos grupos electrógenos a 440 V para suplir los ya existentes.

6.2 IMPACTO DE LA CONEXIÓN DE LA TERCERA GRÚA

Si la SPRBUN decide instalar la tercera grúa pórtico en el punto que tiene determinado tendrá que realizar antes una inversión en el refuerzo de los circuitos afectados por la inclusión de la nueva carga. Esto significa cambiar todo el circuito aéreo, reforzar o cambiar el circuito Bodega 4 y 6 y tendrá que aumentar el calibre del circuito aéreo en el tramo subterráneo que llega hasta los postes en H.

Tendrá también que aumentar el calibre del conductor en el circuito principal de alimentación que llega hasta la celda interruptor DM1-A pues todas las corrientes de los otros circuitos estarán pasando a través de este.

De acuerdo a los análisis realizados el circuito ideal en este momento para la conexión de la tercera grúa pórtico es el circuito Grúas Pórtico ya que este posee un conductor MV-90 15 kV calibre 4/0 AWG - XLPE con capacidad de corriente de 295 Amp el cual en estos momentos solamente esta conduciendo 135 Amp en su demanda máxima.

Con la inclusión de la carga de la nueva grúa pórtico que es de 71.4 Amp quedará conduciendo 206.4 Amp y queda con el suficiente espacio para los arranques de ésta.

La potencia suministrada está limitada por el nivel de tensión y por la corriente máxima que el conductor puede resistir.

7. CONCLUSIONES

Es necesario realizar estudios de estabilidad con el fin de determinar los requerimientos de futuras expansiones del sistema de potencia de la SPRBUN, también se deben determinar los límites de operación ante posibles fallas, contingencias y realizar los correctivos necesarios para evitar posibles interrupciones y mala calidad en el suministro de energía.

Los ensayos de corto circuito monofásico y trifásico proporcionan los parámetros necesarios para el cálculo del sistema de protección.

Con la investigación se identificaron las debilidades del sistema de potencia, como lo son: el alimentador subterráneo de la subestación 10, el alimentador subterráneo del circuito aéreo, el alimentador subterráneo de la bodega cuatro y una vez instalada la nueva carga se debe calcular el nuevo alimentador principal de la SPRBUN.

También se conoció la capacidad máxima disponible que es de 10.77 MVA para la SPRBUN, quien de acuerdo a esta debe considerar su disponibilidad y la expansión para la inclusión de nuevas cargas en su sistema de potencia.

Como la SPRBUN ha iniciado la adecuación de los patios de almacenaje de la antigua Zona Franca y a largo plazo la inclusión de dos nuevas grúas pórticos mas para quedar así con cinco grúas pórtico y sus terminales especializadas de contenedores se deben realizar estudios de potencia a largo plazo para cuando llegue este momento.

8. SUGERENCIAS

Se sugiere alimentar la grúa pórtico No. 3 del circuito de alimentación de las grúas pórticos 1 y 2 ya que este proviene del circuito Sociedad Portuaria que alimenta la Subestación 10 a través de un interruptor del barraje principal; este toma un alimentador para un interruptor de salida hacia las celdas QM y remonte de barras ubicadas en la esquina del cobertizo de la bodega CIAMSA, este alimentador es en conductor calibre 4/0 AWG XLPE – 15 kV.

8.1 ALIMENTACIÓN BODEGA No. 4

Para la conexión de la grúa No. 3 en este punto se sugiere la instalación de un alimentador en calibre 4/0 AWG XLPE – 15 kV a la bodega No. 4 alimentado desde el circuito de la Sociedad Portuaria a través de la red aérea y el Nodo 411530, el cual baja en cable monopolar No. 1/0 AWG XLPE hacia una cámara en el andén.

8.2 ALIMENTADOR AL BARRAJE DE LA GRÚA.

La carga a alimentar según diagrama unifilar son los dos transformadores de la tercera grúa pórtico.

Cuadro 24. Barraje de grúas Pórtico

TRAFO	RELACIÓN	POTENCIA
1	13.200/575	1500
2	13.200/460-265	300

$$I_n = \frac{1800KVA}{\sqrt{3} \times 13,2KV} = 78.73Amp$$

I fusible = $1.5 \times I_n = 1.5 \times 66.09 = 99 \text{ Amp}$

El fusible normalizado será 100 Amp

La capacidad del seccionador será:

I seccionador = $6 \times I_n = 472.38 \text{ Amp}$

El seccionador deberá ser de 500 Amp mínimo, recomendado 630 Amp GAM SM6 tipo QM.

Cálculo del Conductor

I conductor = $I_n \times 1.25 = 78.73 \times 1.25 = 98.41 \text{ Amp}$

El conductor a utilizar será el No. 2/0 AWG XLPE a 15 KV y diseñado para soportar corrientes mayores a 150 Amp a 75ª C.

Verificación de corriente de transición:

Para los fusibles de las celdas QM se deberá cumplir I de fusión = (40 ms) < I transición = A

I de transición = 1500 A / 15 KV.

Los fusibles MM MEHANIKA de 100 Amp tiene aproximadamente 1250 Amp a 40 ms por lo tanto cumplen.

Para que las instalaciones del sistema de potencia de la SPRBUN queden en óptimo funcionamiento se recomienda atender las siguientes sugerencias.

- Llevar todo el control del sistema de potencia a un solo punto para tener el manejo total del mismo a través de seccionadores automáticos o celdas QM.
- Cambiar el alimentador de la subestación número 10 y la parte subterránea del circuito aéreo de conductor calibre 4/0 AWG – XLPE forma actual a dos

conductores 4/0 AWG – XLPE por fase para evitar el posible colapso del sistema, disminuyendo la resistencia del conductor y aumentando el flujo de potencia en el circuito.

- Llevar el control del circuito aéreo en el tramo ubicado desde ALMAGRARIOS hasta la puerta Pekín, todo a la subestación número 10. Dejando el manejo total del sistema de potencia en un mismo punto a través de seccionadores GAM SF6 rama QM.
- Separar o independizar el circuito alimentador del edificio administrativo del circuito aéreo y llevarlo directamente a un seccionador en la subestación No. 10

Realizar estudios de ampliación de la subestación de control número 10 y trasladar al personal de operarios a ésta para dirigir desde aquí el manejo del sistema de potencia con mayor rapidez en la solución de las fallas, para este fin la subestación debe quedar de dos niveles. De esta forma en el primer nivel quedarían todos los seccionadores y transformadores ubicados en la subestación número diez.

El segundo nivel sería utilizado por el personal técnico y para el almacenaje de los materiales y equipos de repuesto.

Dar una mejor utilización a las celdas de protección QM ya que en casos como la celda dos y tres de la subestación No. 10 se encuentran subutilizadas.

Automatizar mediante seccionadores GAM – SF6 gama QM las subestaciones de las bodegas de Alcázar, Bomberos, Cafetería y la subestación No. 11 ya que estas en el momento trabajan en forma mecánica.

Montar un nuevo circuito de alimentación destinado únicamente al manejo de la potencia de las grúas pórticos existentes y los proyectos de expansión a realizar. Este circuito será traído desde la subestación TABOR de la Empresa de Energía del Pacífico – EPSA, partiendo desde la salida del medidor hasta el nodo número 415335 donde está ubicada la subestación No. 10. Como este circuito es considerado un alimentador interno la SPRBUN es libre de realizar trabajos de ampliación para aumentar el flujo de potencia sin tener que solicitar proyectos de ampliación al operador de red.

Eliminar todos los circuitos aéreos y llevarlos en forma subterránea atreves de gabinetes de distribución para cada nodo

BIBLIOGRAFÍA

Código Eléctrico Colombiano N. T. C. 2050 Primera actualización 1998-11-25. 2 ed. Santafé de Bogotá, 604. p.

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS, CREG. Leyes 142 ,143. Congreso de la República de Colombia. 11 de Julio de 1994. Santafé de Bogotá, 129 p.

Estación 2. Schneider Electric Cuaderno Técnico # 079 El SF6 Características físicas y químicas. Modificación 23/09/2005. Tipo Adobe Acrobat 7.0; 1.25 MB. Alemania: Schneider Electric, 2005. 68 p.

FINK, Donald G. Manual de ingeniería eléctrica 13 ed., México: McGraw -Hill, 1993. 4 v.

KINGSLEY, Charles, UMANS Jr. Stephen D. Máquinas Eléctricas 5 ed. México: McGraw – Hill, 1992. 670 p.

MARTÍN, José Raúl. Diseño de subestaciones eléctricas. México: McGraw - Hill, 1990. 510 p.

NASAR, Syed A. Sistemas Eléctricos de Potencia. México: McGraw -Hill. 2 ed. 1990. 256 p.

NEPLAN Version 5.2.4. Demo Software de Simulación. BCO By BCP Switzerland CH-8703 Erlen Bach, 1988 – 2005. Switzerland. Windows XP, 2005. 1 software.

RAMÍREZ G., Carlos Felipe. Subestaciones de alta y extra alta tensión. Colombia: Cadena S.A., 1991. 971 p.

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE. Resolución No. 180398 del 7 de Abril de 2004. República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía. Santafé de Bogotá, 2004. 190 p.

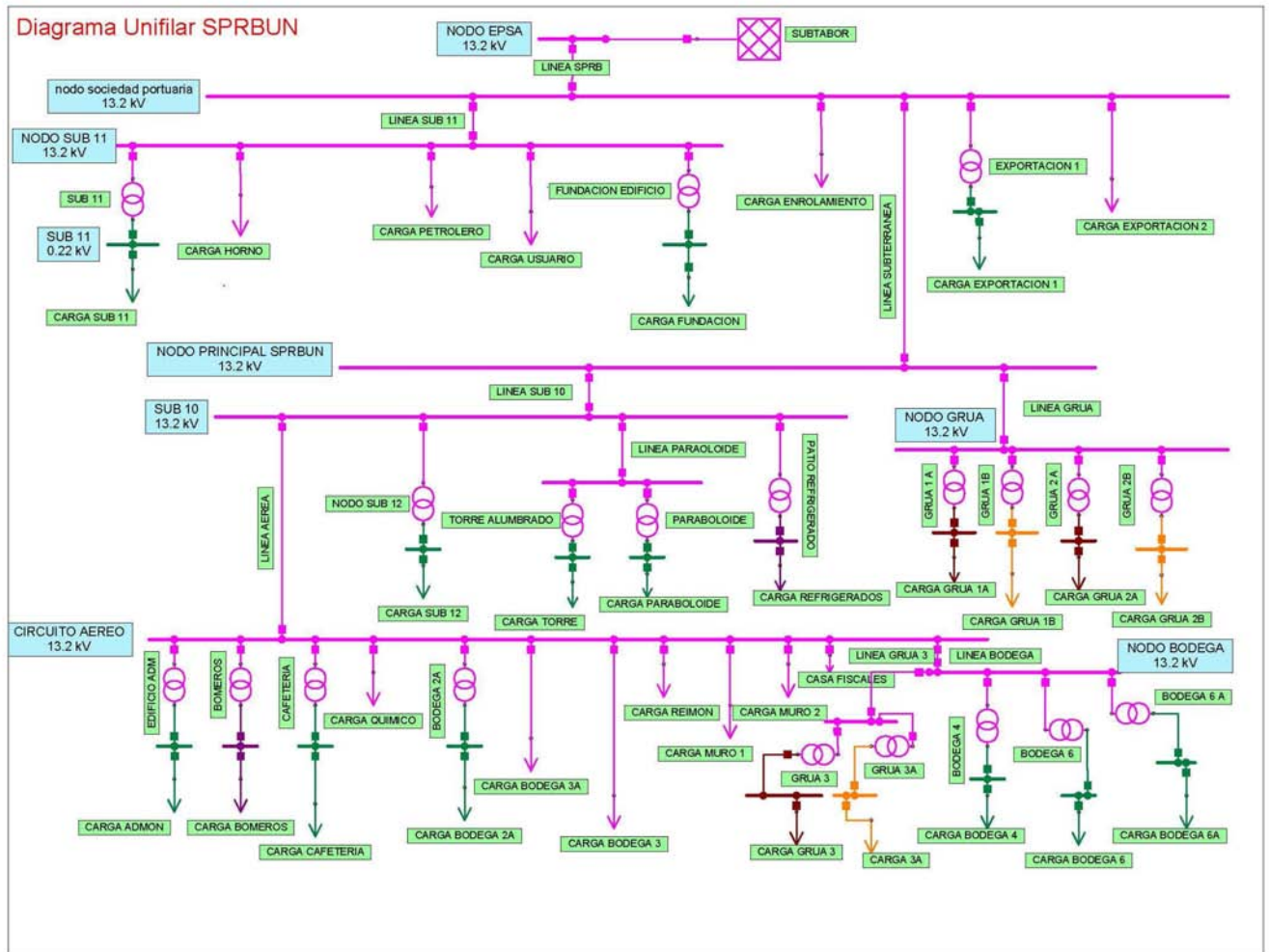
SHAPMAN, Stephen. Máquinas Eléctricas. Santafé de Bogotá: McGraw - Hill, 1993. 740 p.

STAFF, E. E. Circuitos Magnéticos y Transformadores M.I.T. Argentina: Editorial Reverte, 1981. 697 p.

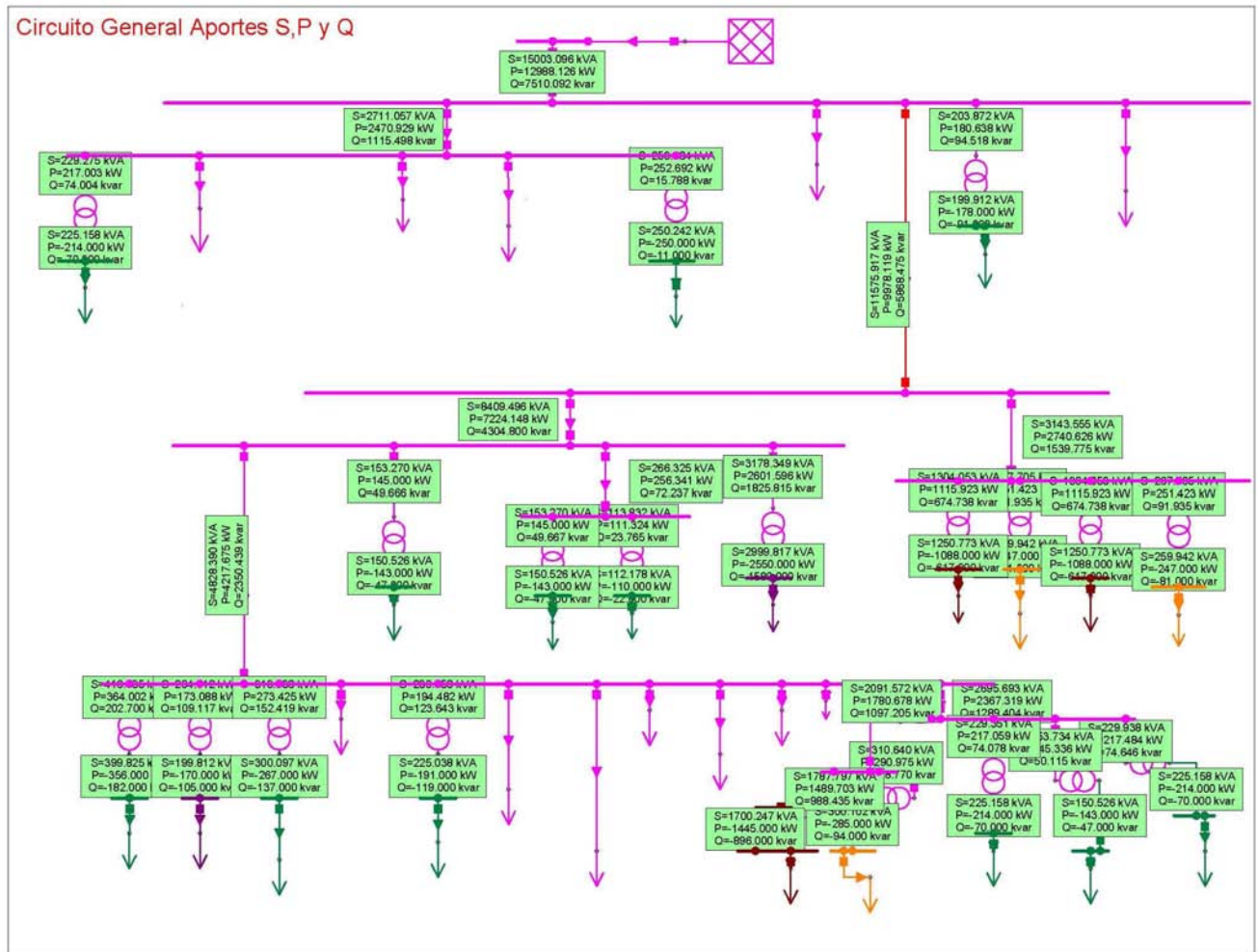
STEVENSON, W. D. Análisis de Sistemas de Potencia. México: McGraw -Hill, 2002. 398 p.

ANEXOS

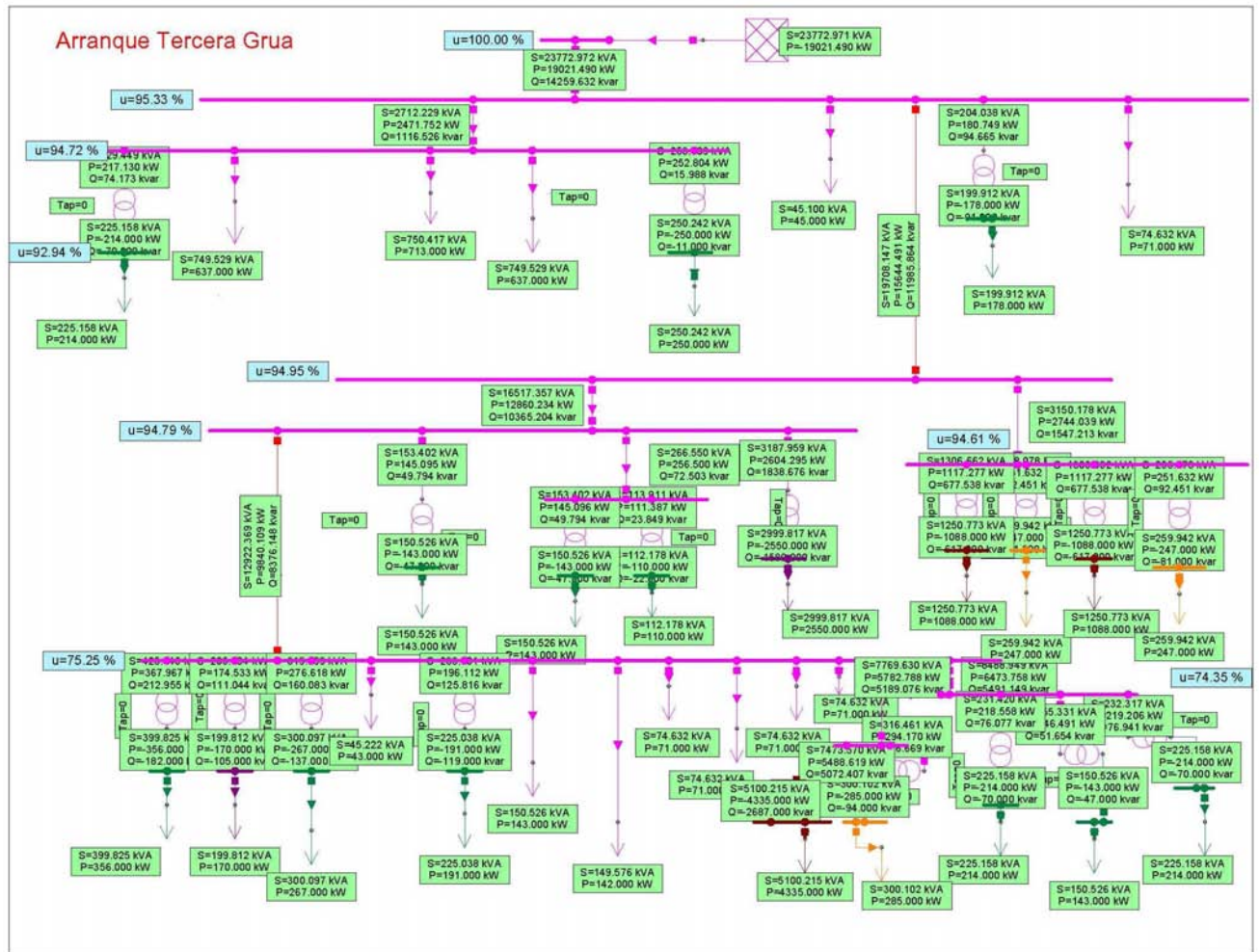
Anexo 1. Diagrama Unificar SPRBUN



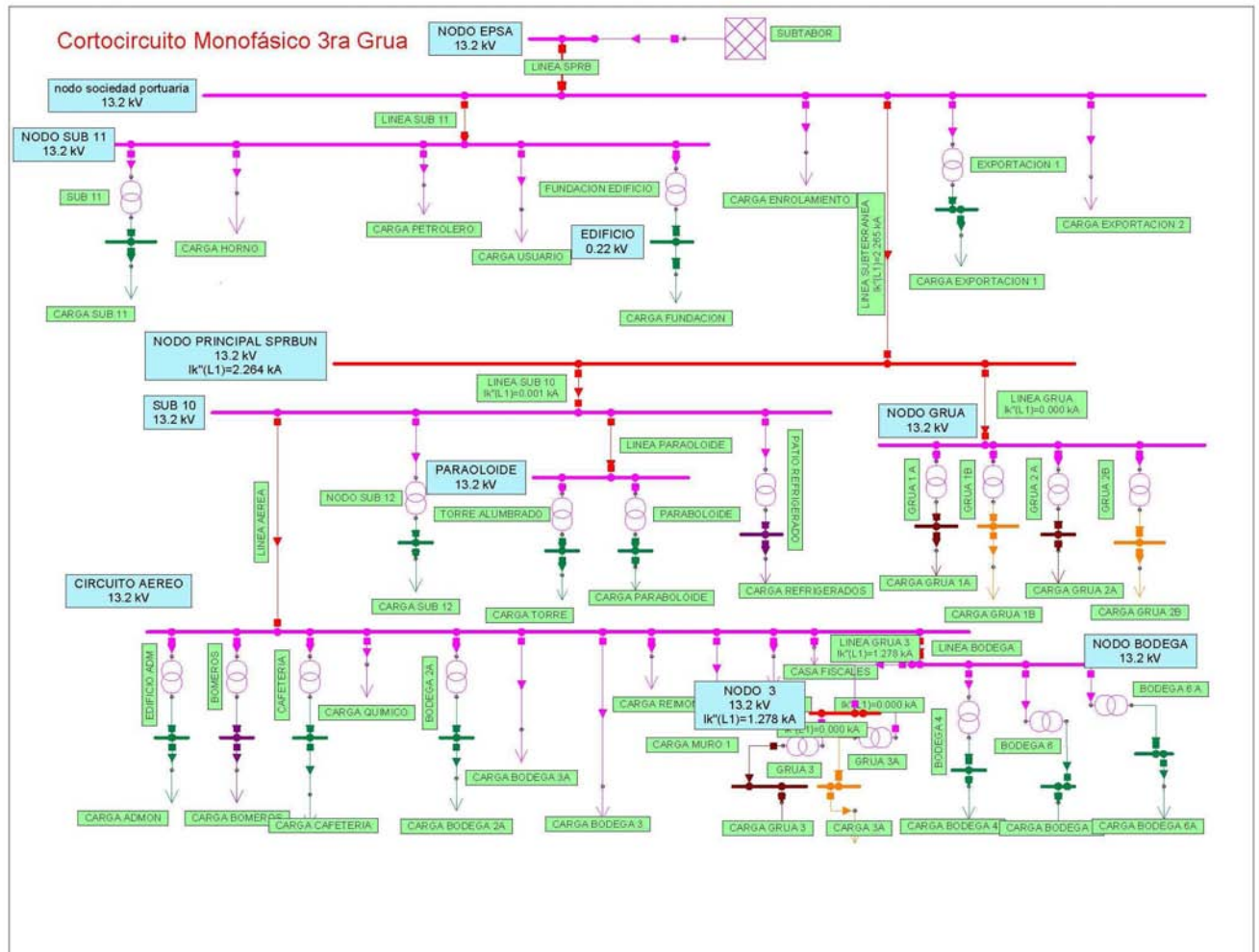
Anexo 2. Circuito General Aportes S, P y Q



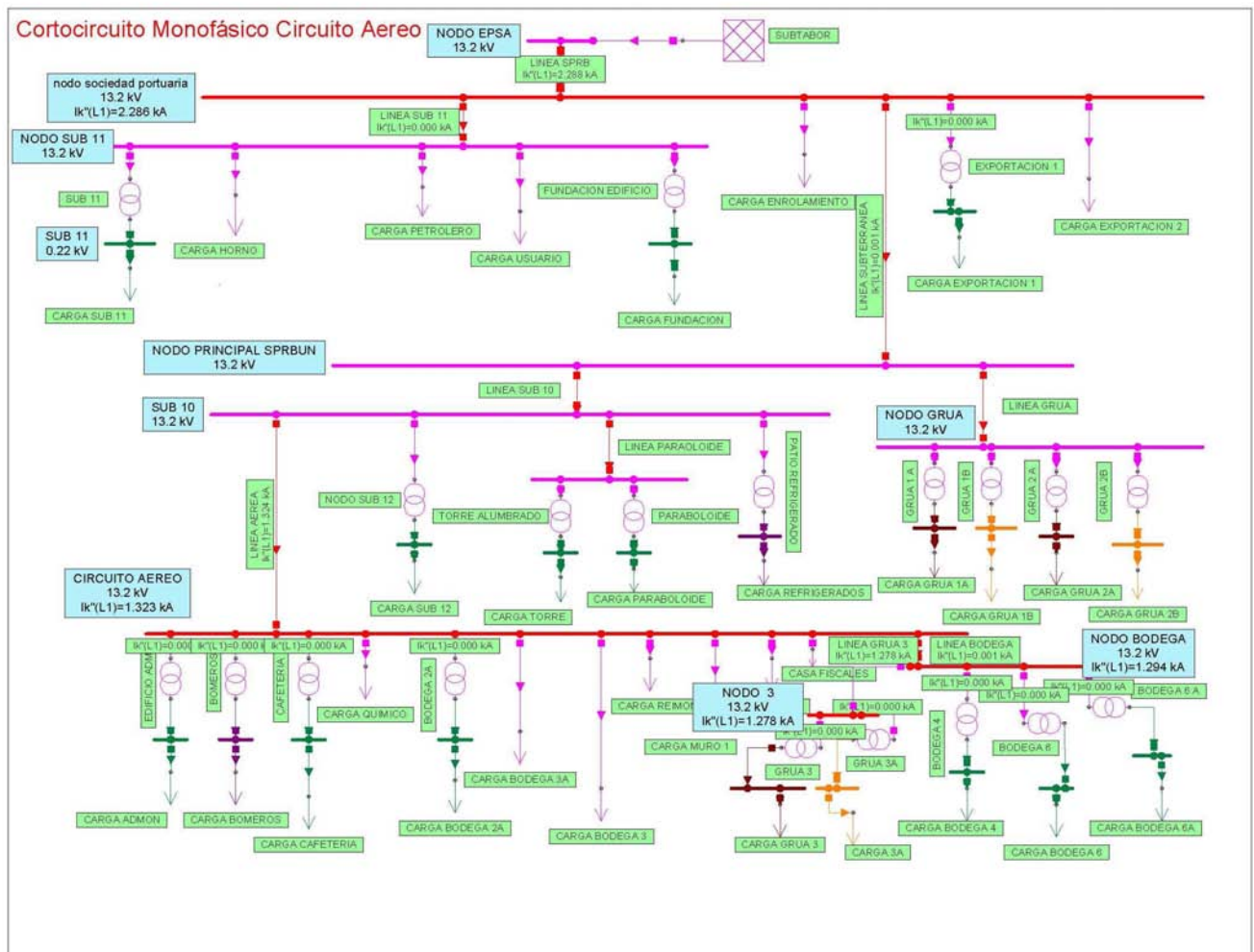
Anexo 3. Arranque Tercera Grúa



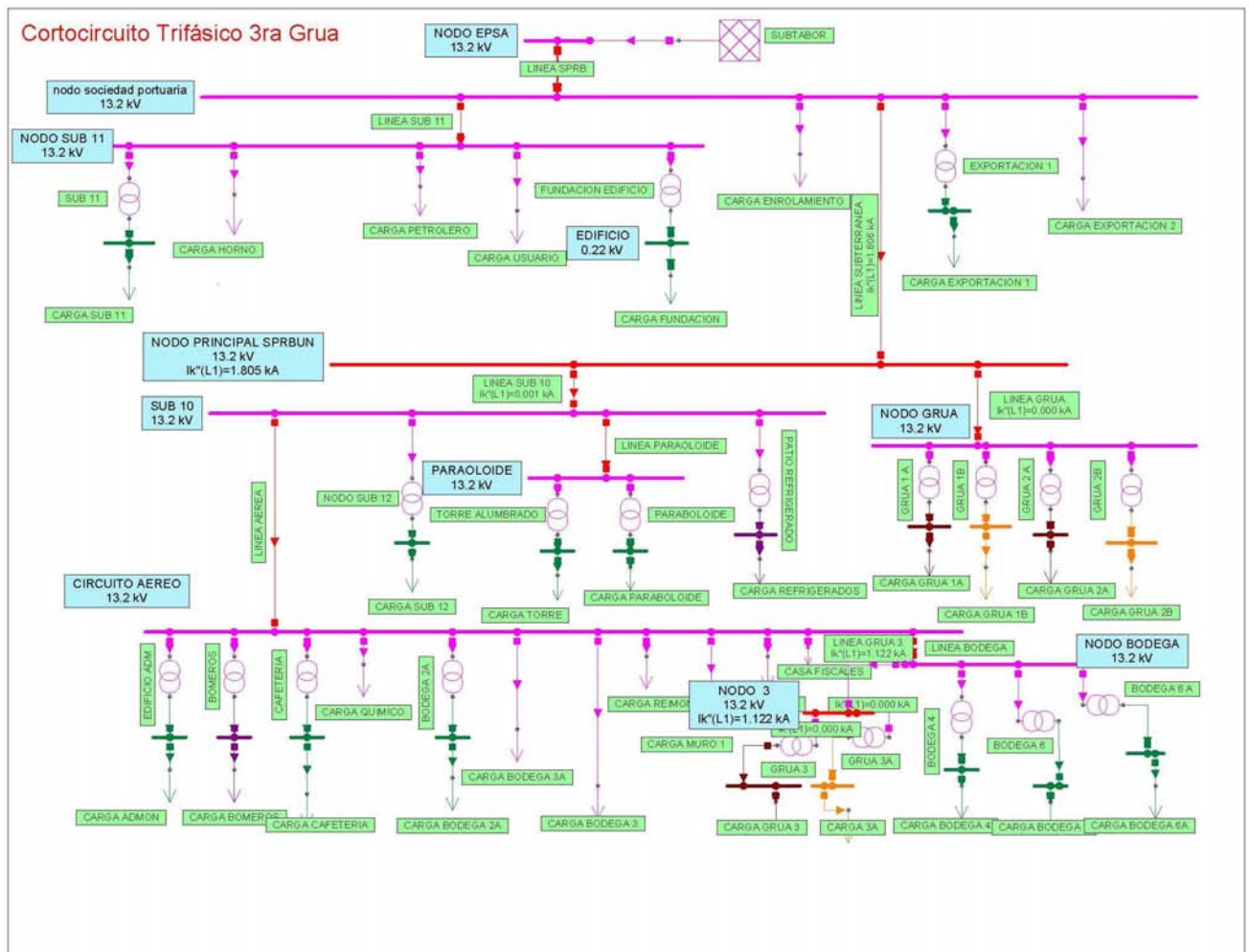
Anexo 4. Cortocircuito Monofásico 3ra. Grúa



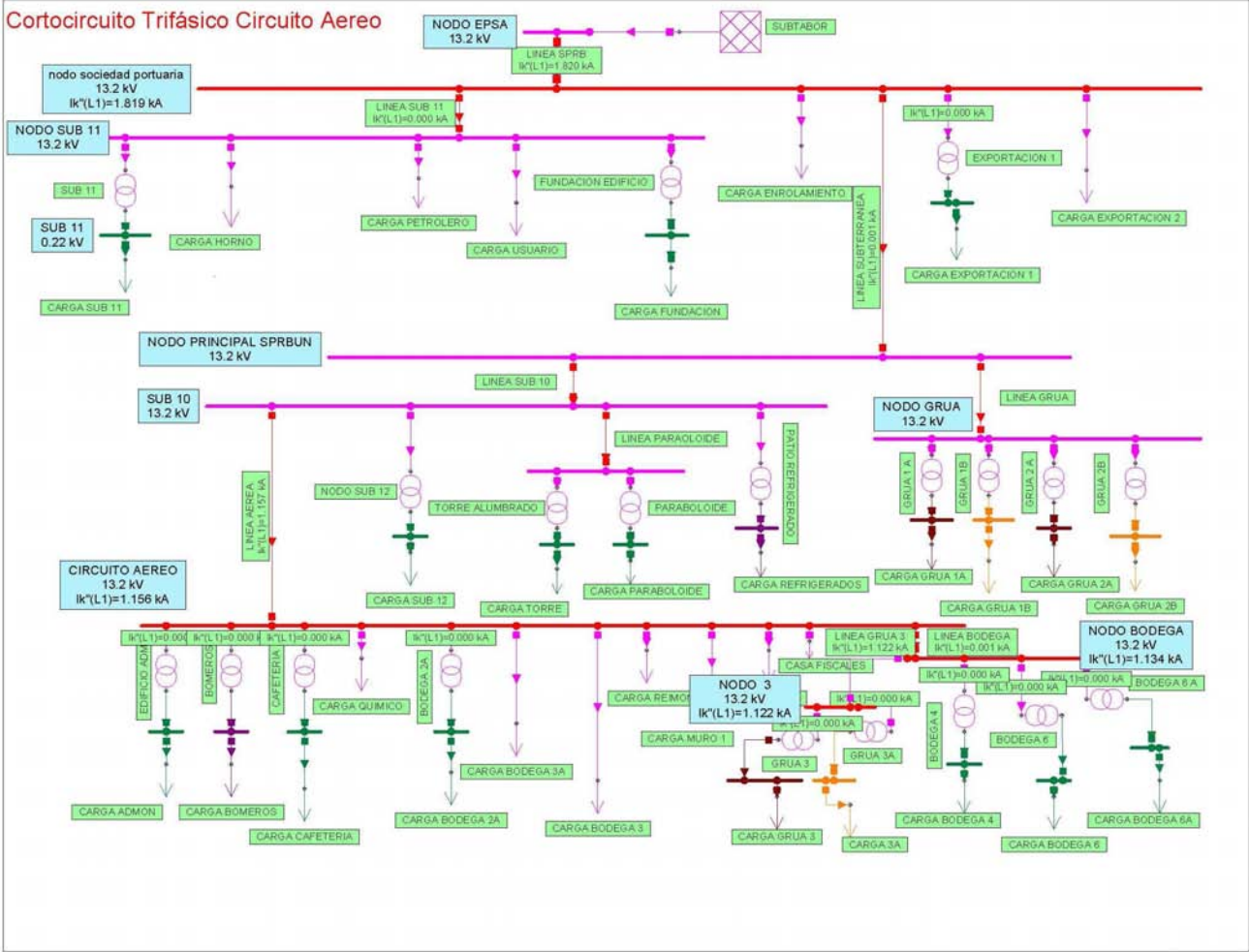
Anexo 5. Cortocircuito Monofásico Circuito Aéreo.



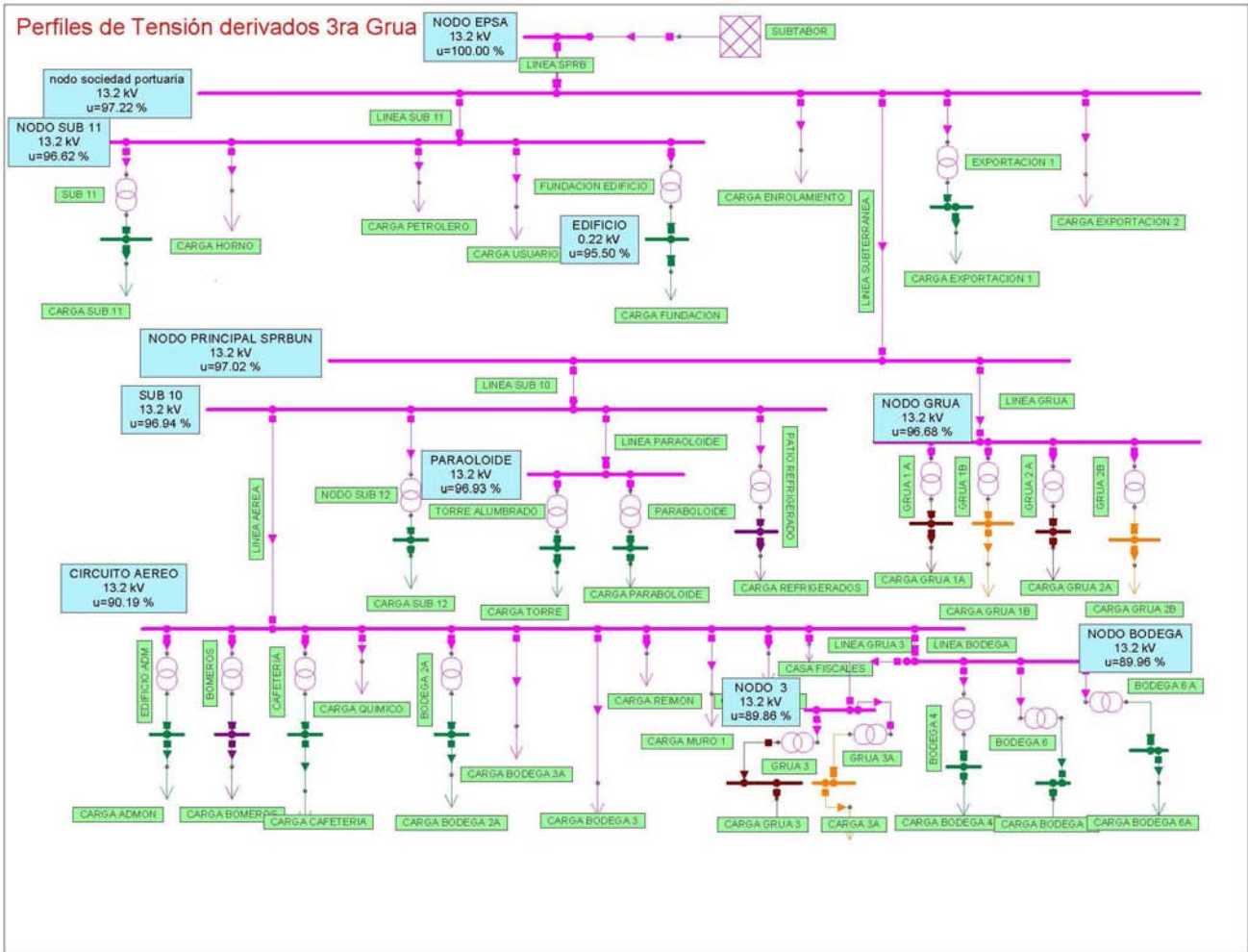
Anexo 6. Cortocircuito Trifásico 3ra. Grúa



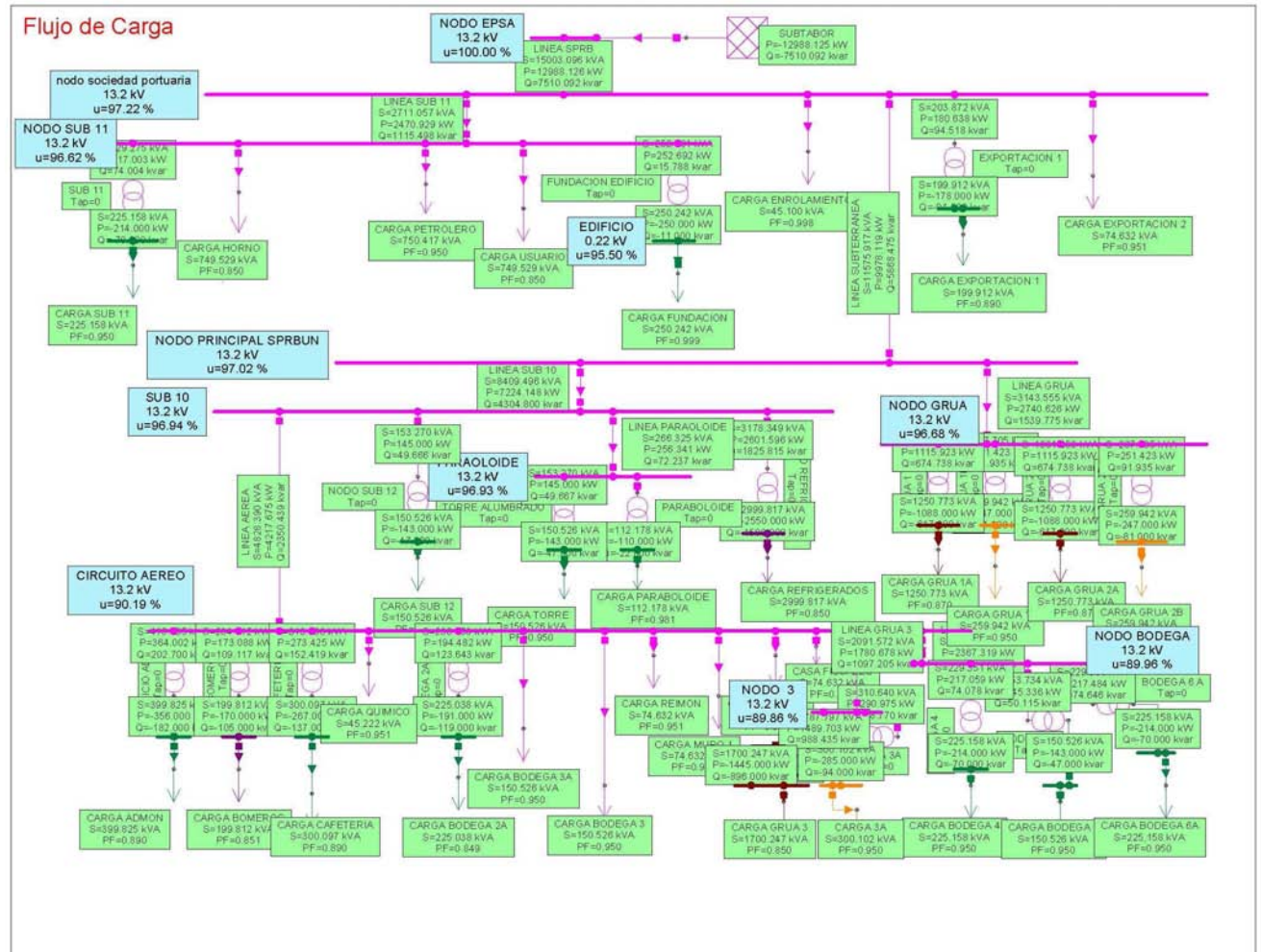
Anexo 7. Cortocircuito Trifásico Circuito Aéreo



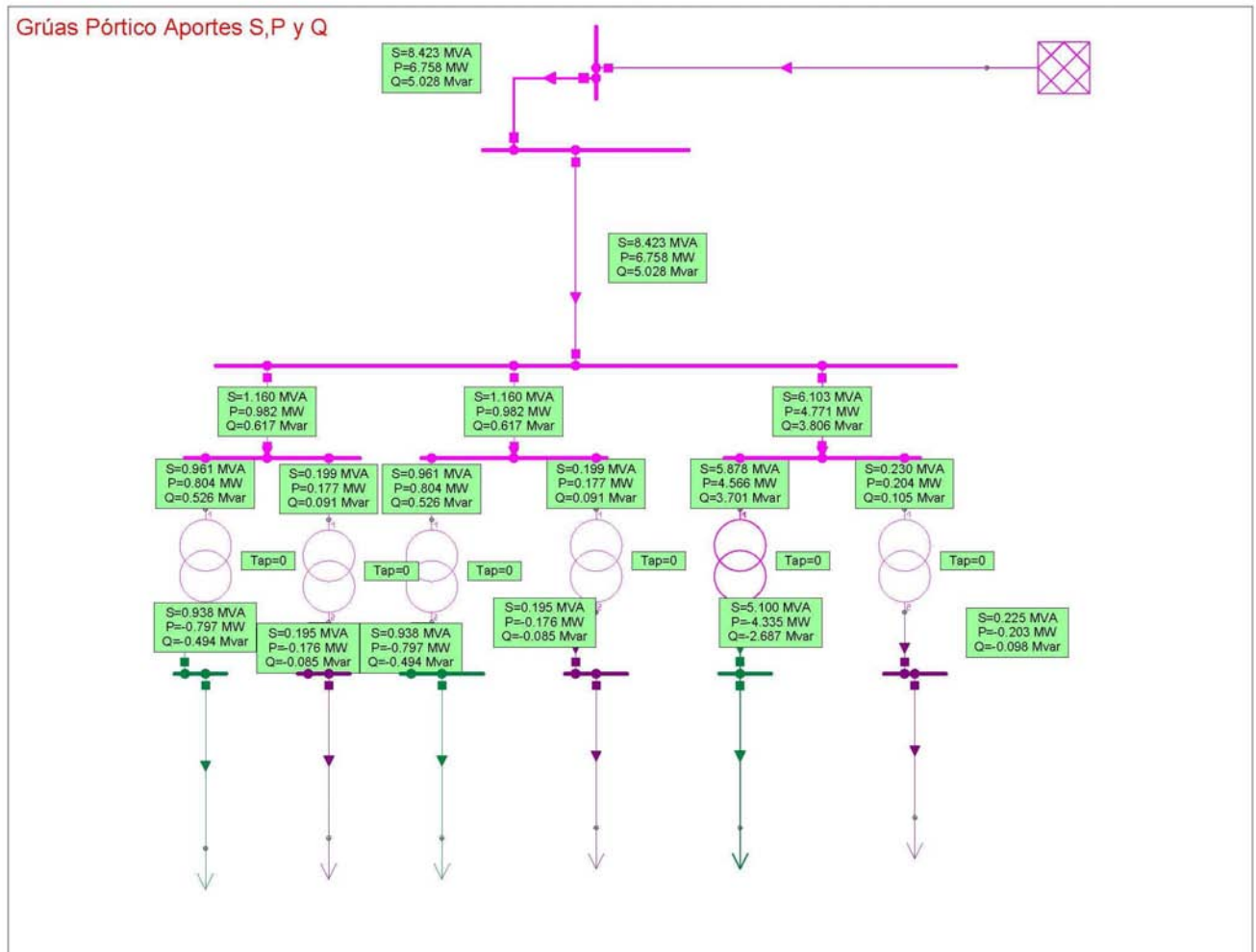
Anexo 8. Perfiles de Tensión derivados 3ra. Grúa



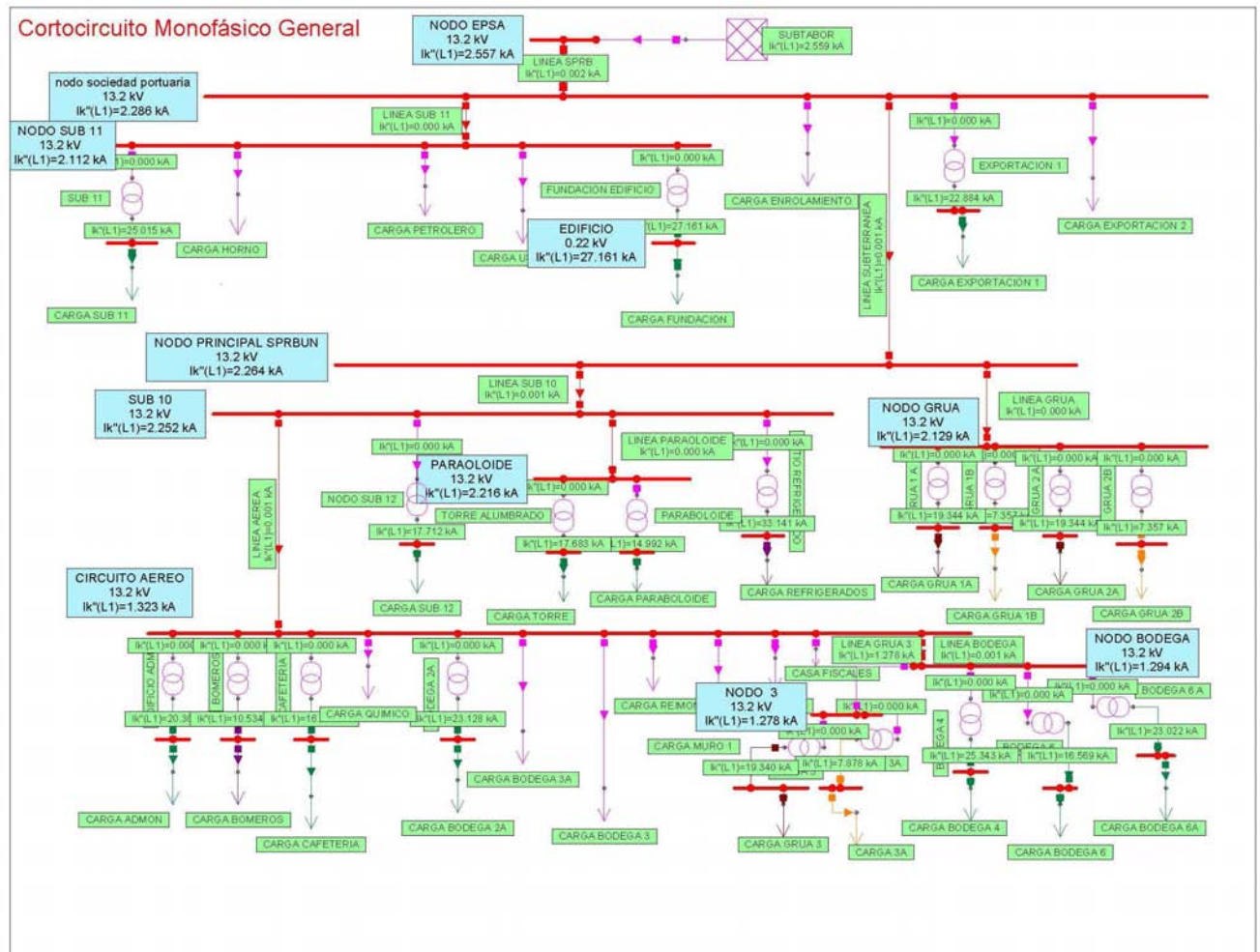
Anexo 9. Flujo de Carga



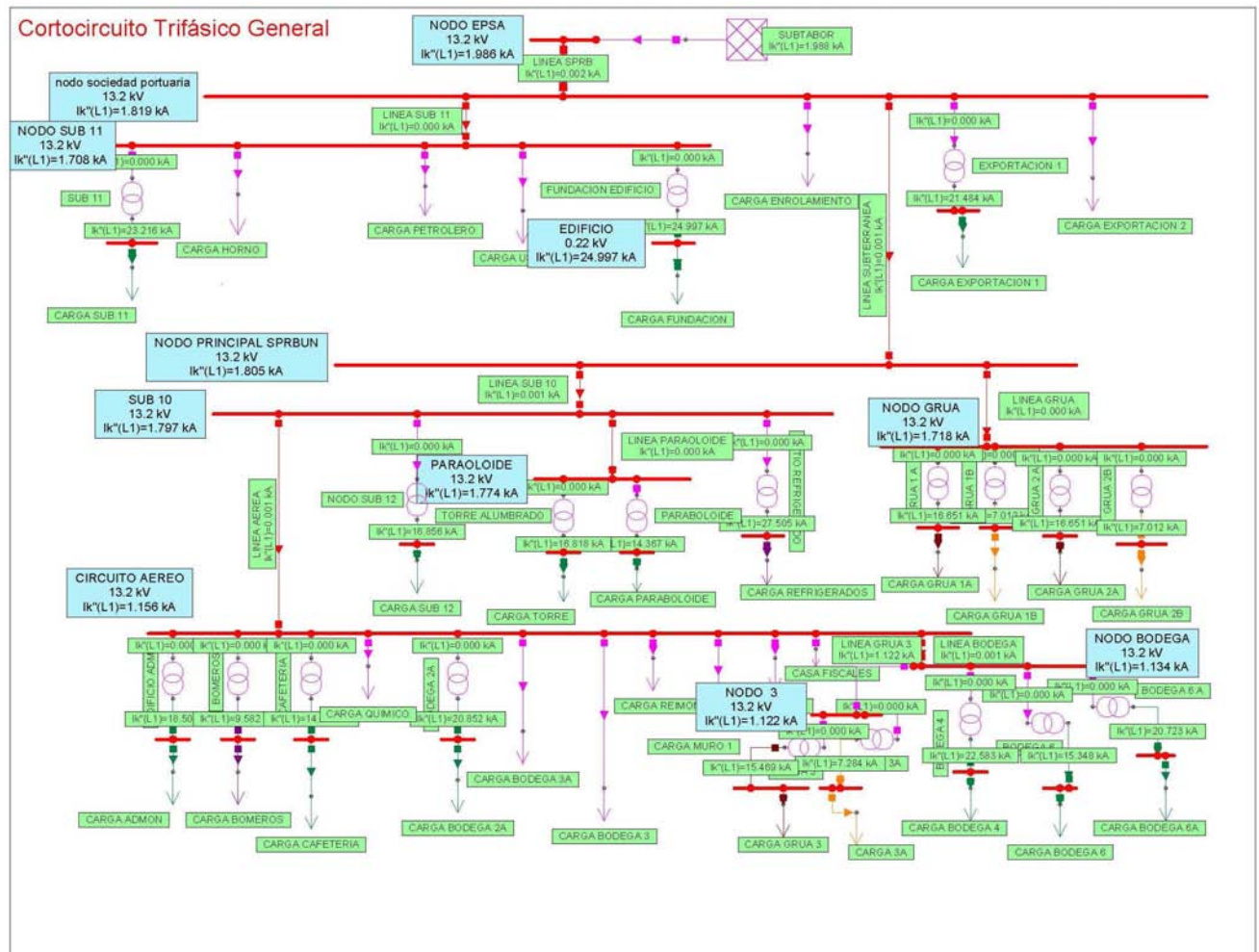
Anexo 10. Grúas Pórtico Aportes S, P y Q



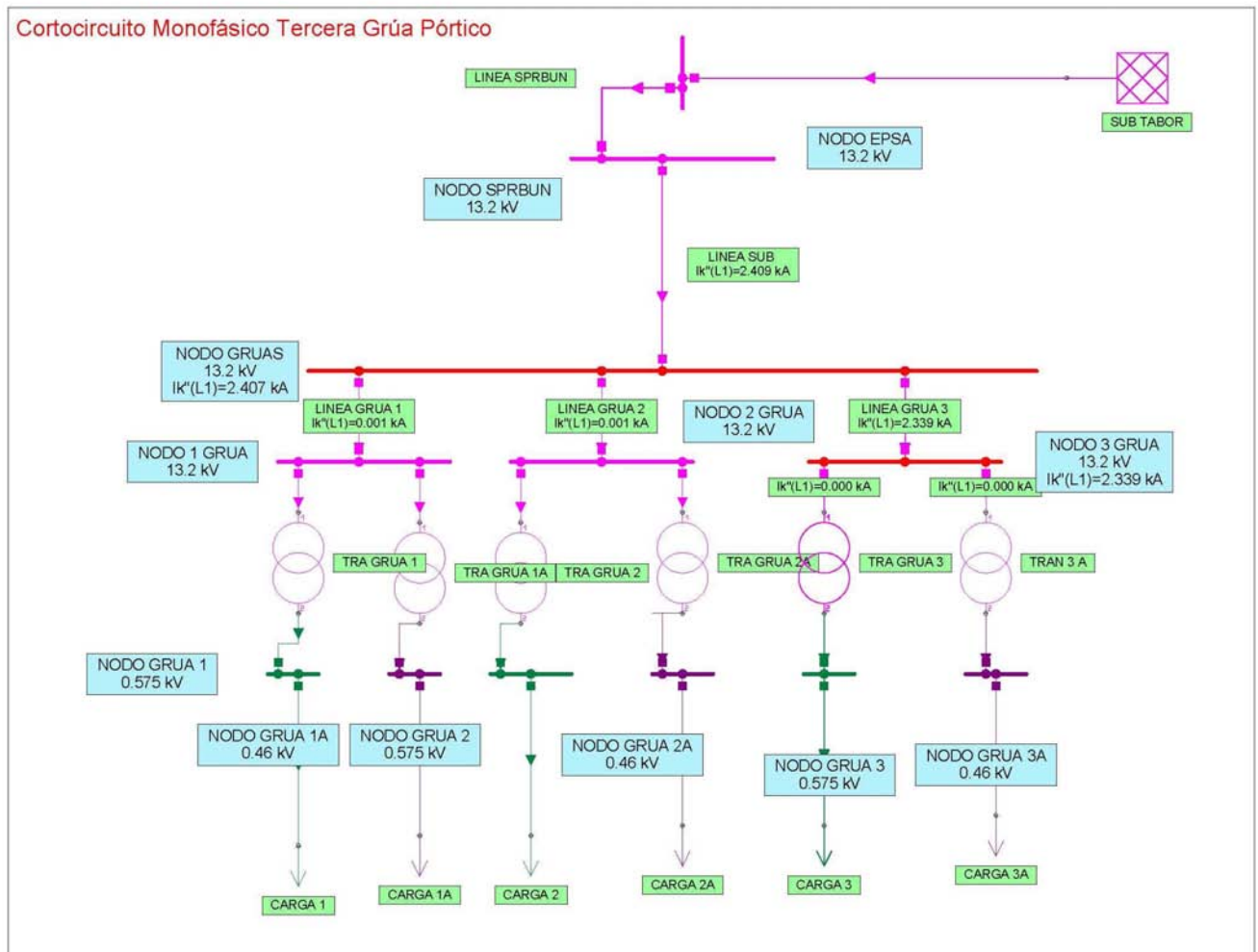
Anexo 11. Cortocircuito Monofásico General



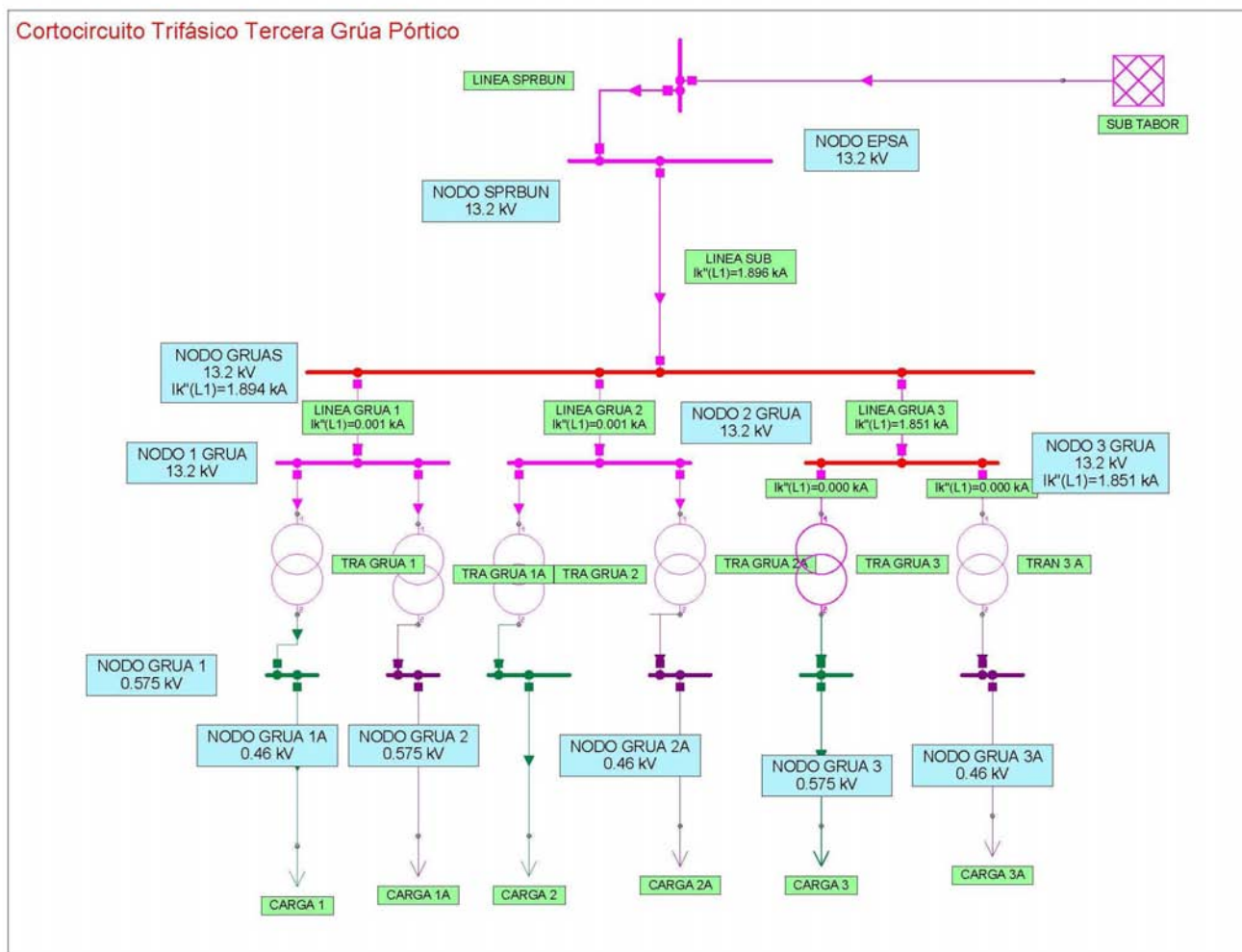
Anexo 12. Cortocircuito Trifásico General



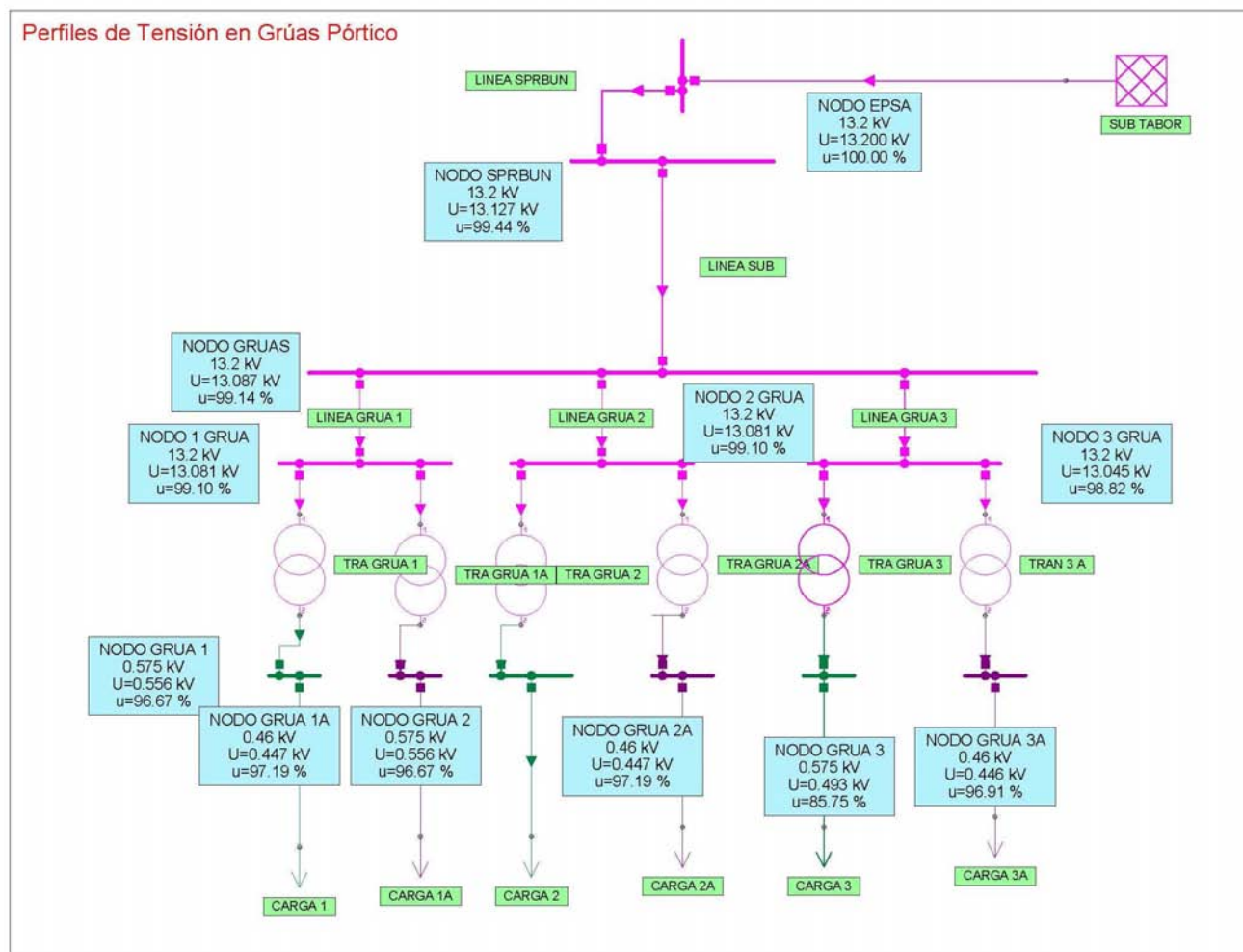
Anexo 13. Cortocircuito Monofásico Tercera Grúa Pórtico



Anexo 14. Cortocircuito Trifásico Tercera Grúa Pórtico

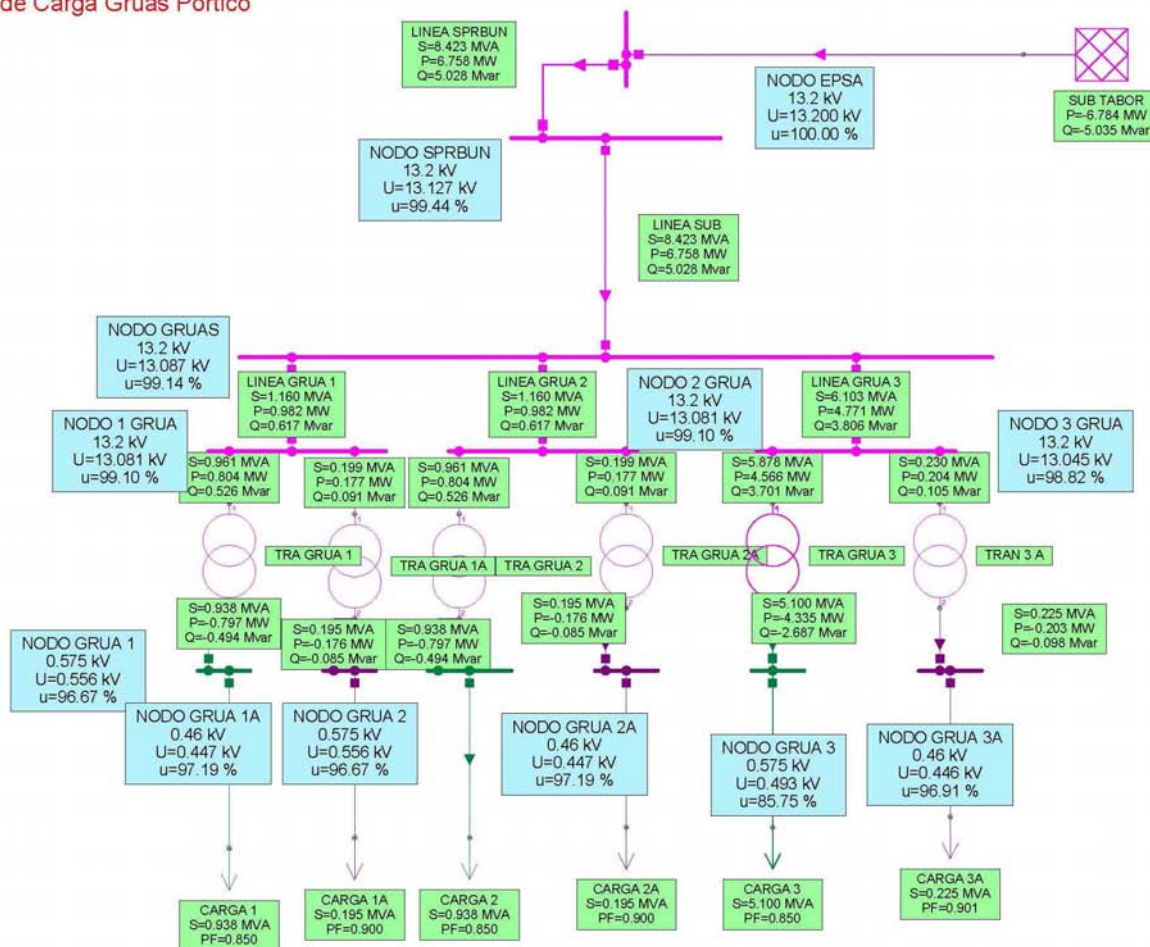


Anexo 15. Perfiles de Tensión en Grúas Pórtico

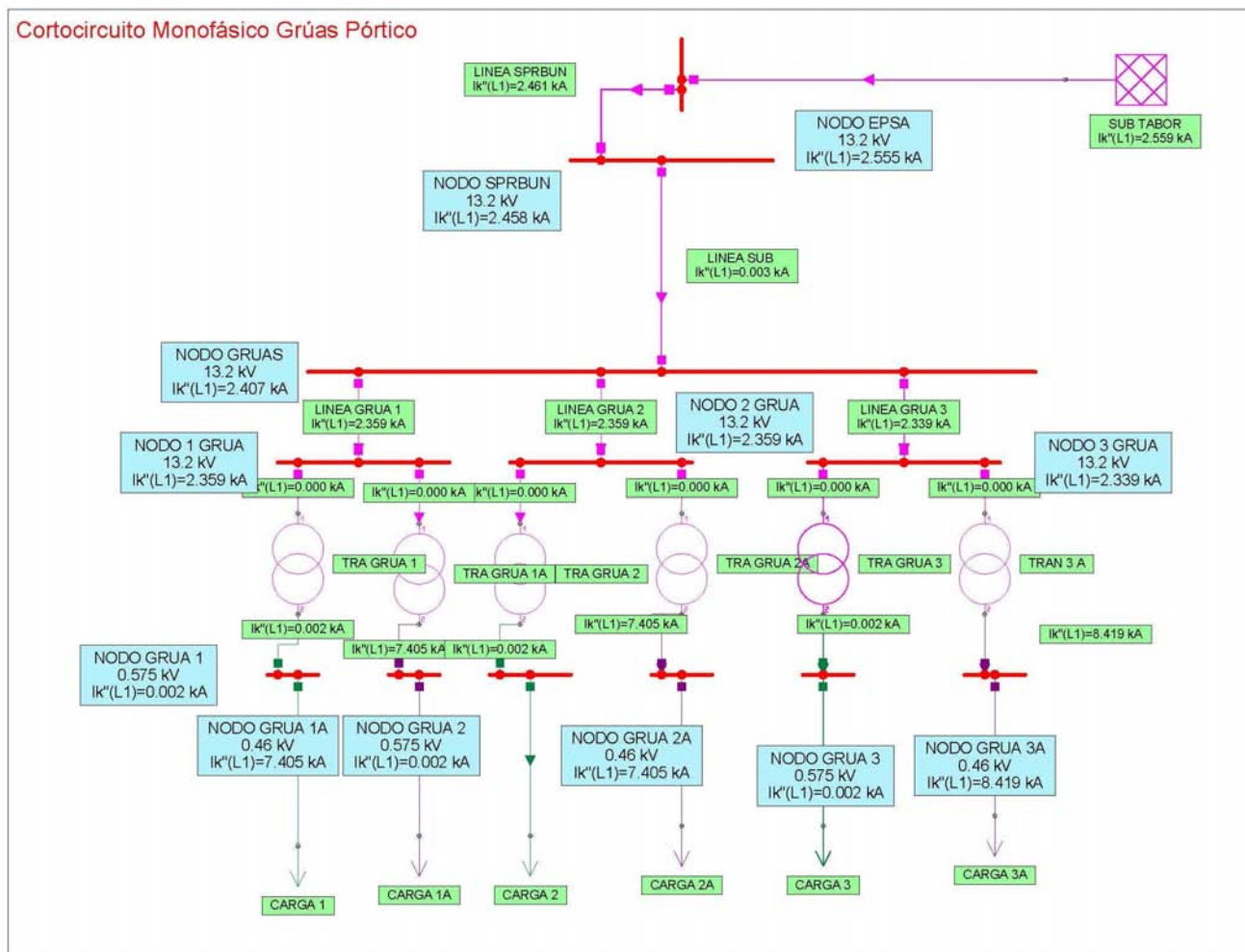


Anexo 16. Flujo de Carga Grúas Pórtico

Flujo de Carga Grúas Pórtico



Anexo 17. Cortocircuito Monofásico Grúas Pórtico



Anexo 18. Cortocircuito Trifásico Grúas Pórtico

